



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

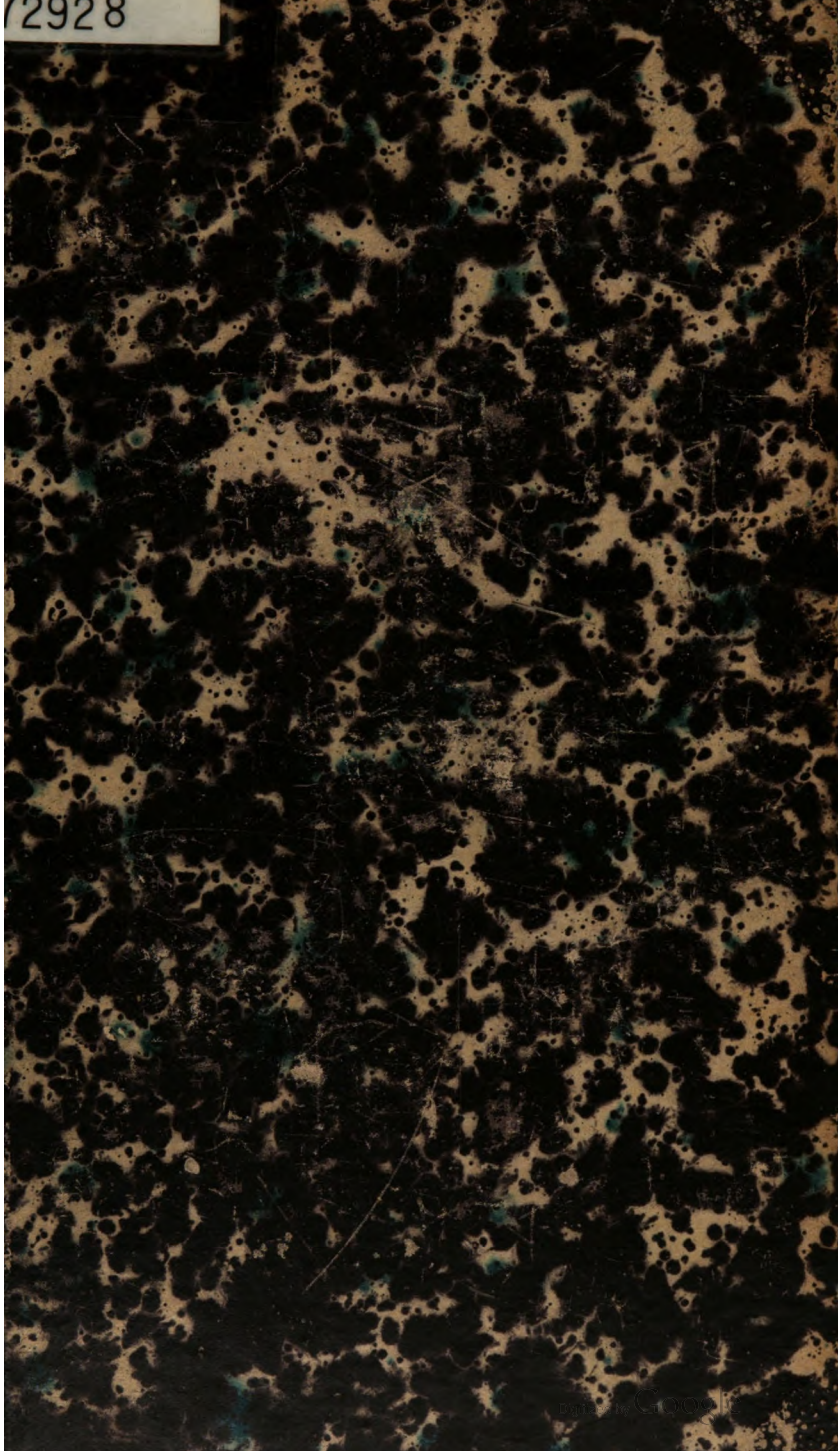
Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

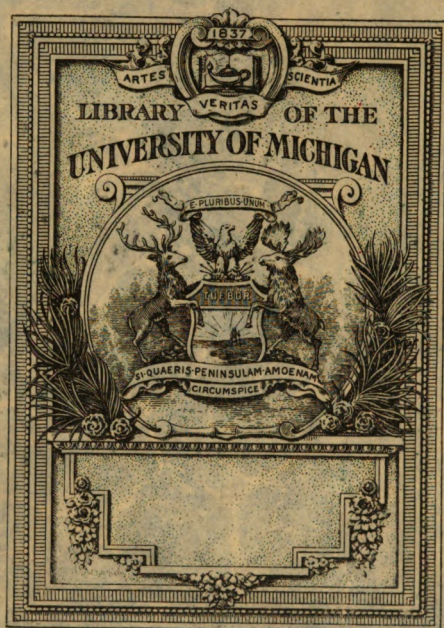
We also ask that you:

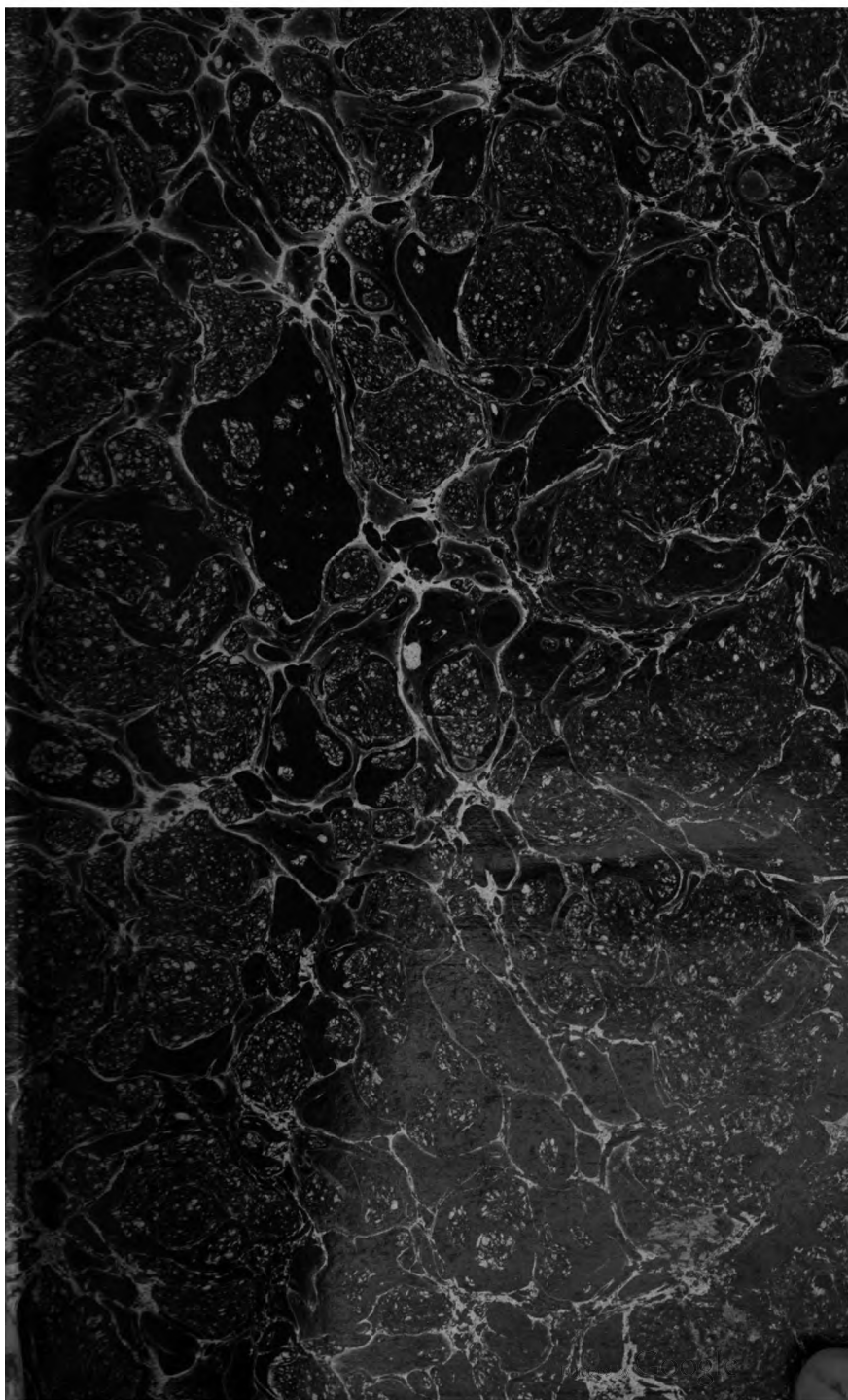
- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>







11-2

QC
1

.A613

ANNALEN
DER
PHYSIK UND CHEMIE.

BAND CII.

ANNALEN



DER

P H Y S I K

UND

C H E M I E.

VIERTE REIHE.

H E R A U S G E G E B E N Z U B E R L I N

VON

J. C. POGGENDORFF.

ZWÖLFTER BAND.

NEBST FÜNF KUPFERTAFELN.

LEIPZIG, 1857.

VERLAG VON JOHANN AMBROSIVS BARTH.

ANNALEN



DER

P H Y S I K

UND

C H E M I E.

HERAUSGEGEBEN ZU BERLIN

VON

J. C. POGGENDORFF.

HUNDERT UND ZWEITER BAND.

DER GANZEN FOLGE HUNDERT UND ACHT UND SIEBZIGSTER.

NEBST FÜNF KUPPERTAFELN.

LEIPZIG, 1857.

VERLAG VON JOHANN AMBROSIOUS BARTH.

I n h a l t

des Bandes CII der Annalen der Physik und Chemie.

Erstes Stück.

	Seite
I. Elektrolytische Untersuchungen; von G. Magnus	1
II. Ueber die tantalsuren Salze; von H. Rose	55
III. Ueber die elektrostatische Induction und die Verzögerung des Stroms in Flaschendrähnen; von W. Siemens	66
IV. Versuche über die Endosmose des Glaubersalzes; von W. Schmidt	122
V. Das Telestereoskop; von H. Helmholtz	167
VI. Eine Licht-Erscheinung im Auge; von V. S. M. van der Wil- ligen	175

(Geschlossen am 24. Sept. 1857.)

Zweites Stück.

I. Ueber die elektrische Funkenentladung in Flüssigkeiten von Peter Rieffs	177
II. Ueber die Länge der Elektromagnete; von J. Dub	199
III. Ueber die Biegung prismatischer Stäbe; von R. Hoppe	227
IV. Ueber den aufsteigenden Luftstrom, die Entstehung des Hagels und die Wirbelströme; von F. Vettin	246
V. Ueber das Erlöschen der Schallschwingungen in heterogenen Flüs- sigkeiten; von E. Baudrimont	256

	Seite
VI. Ueber die Margarinsäure; von W. Heintz	257
VII. Ueber die niedrigen Oxydationsstufen des Tantals; von H. Rose	280
VIII. Ueber zwei ausgezeichnete Beispiele der Schmelzpunkts-Ernie- drigung; von F. G. Schaffgotsch	293
IX. Ueber die Gase des Blutes; von L. Meyer	299
X. Mineralogische Notizen, mitgetheilt von A. Kenngott	308
XI. Ueber neue Verbindungen des Siliciums; von H. Buff und F. Wöhler	313
XII. Ueber Stickstoffsilicium und Stickstoffbor; von F. Wöhler	317
XIII. Neue stereoskopische Erscheinung; von Cima	319
XIV. Ueber die Transformation des flüssigen Cylinders; von A. Beer	320

(*Geschlossen am 26. October 1857.*)

Drittes Stück.

I. Chemische Theorie des Schießpulvers; von R. Bunsen und L. Schischkoff	321
II. Ueber die Ringsysteme der zweiachsigten Krystalle; von J. Zech	354
III. Allgemeine Gleichungen für-oscillatorische Bewegungen; von J. Stefan	365
IV. Versuch, die Dichtigkeit chemischer Verbindungen theoretisch zu berechnen; von A. E. Nordenskiöld	387
V. Ueber die Verbindungen des salpetersauren Natrons mit dem sal- petersauren Silberoxyd; von H. Rose	436
VI. Ueber das phosphorsaure Natron-Lithion; von C. Rammels- berg	441
VII. Analyse des Zirkons aus Buncombe County, North Carolina; von Ch. F. Chandler	444
VIII. Ueber einige Zirkonerde- und Titansäure-Verbindungen; von C. M. Warren	449

	Seite
IX. Ueber den Ankerit; von R. Luboldt	455
X. Ueber die Messung der ebenen Krystallwinkel und deren Verwerthung für die Ableitung der Flächen; von F. Pfaff	457
XI. Ueber eine sehr flächenreiche Schwerspathcombination und Ableitung ihrer Flächen aus deren ebenen Winkeln; von Demselben	464
XII. Ueber das Daseyn der Circularpolarisation im Zinnober; von Descloizeaux	471
XIII. Vervollständigung dieser Notiz und Beobachtungen über das Drehvermögen der Krystalle des schwefelsauren Strychnins; von Demselben	474
XIV. Silber im Meerwasser; von S. Bleckrode	478
XV. Akustisches Phänomen; von Meister	479
(<i>Geschlossen am 5. December 1857.</i>)	

Viertes Stück.

I. Ueber die Extrastrome; von P. L. Rijke	481
II. Ueber die Bewegung der Elektrizität in Leitern; von G. Kirchhoff	529
III. Ueber das Verhalten der Borsäure zur Weinsteinsäure; von H. Rose	545
IV. Ueber die elektromagnetische Wirkung voltascher Ströme verschiedener Quellen; von W. Beetz	557
V. Vom Einfluß der Temperatur auf die Erscheinungen in Haarröhrchen; von C. Wolf (Schluß)	571
VI. Ueber die Capillarität; von W. Wertheim	595
VII. Ueber das capillare Aufsteigen des Wassers zwischen parallelen Platten; von E. Desains	601
VIII. Ueber die Theorie der Capillarphänomene; von Gilbert . .	605
IX. Einige Bemerkungen über die meteorologischen Aufsätze des Hrn. Vettin; von H. W. Dove	607

VIII

Seite

X. Ueber den Ozongehalt der Atmosphäre; von F. Neumann . .	614
XI. Zum Meteoriten von Heinholtz; von Frhr. v. Reichenbach .	618
XII. Ueber die Meteoriten aus dem Tolucahal in Mexiko; von Dem- selben	621
XIII. Ueber die Dichtigkeit des Ozons; von Th. Andrews und P. G. Tait	625
XIV. Der Tonflammenapparat; von F. G. Schaffgotsch . . .	627
XV. Ueber die Constitution der Seifenblasen; von V. J. M. van der Villigen	629
XVI. Ueber das Verhalten eines kleinen Springbrunnens innerhalb einer elektrischen Atmosphäre; von A. Fuchs	633
XVII. Polarisation der Elektroden und Wasserbildung im Voltameter; von Bertin	635
XVIII. Ueber das Phänomen der Fluorescenz; von C. M. Guillemin	640
XIX. Von einer ökonomischen Art, einen elektrischen Strom durch den Erdmagnetismus zu erzeugen; von Lamy	641
XX. Neuer Polarisator von Kalkspath; von L. Faucault . . .	642
XXI. Notizen	643
Register zum Jahrgang 1857.	645

(Geschlossen am 30. December 1857.)

Nachweis zu den Kupfertafeln.

Taf. I. — Siemens, Fig. 1, 2 u. 3, S. 71; Fig. 4, S. 75.

Taf. II. — Siemens, Fig. 1, 2, 3 u. 4, S. 74; Fig. 5, S. 81; Fig. 5^a u. 6^b, S. 120. — VV. Schmidt, Fig. 7, S. 151; Fig. 8, S. 158; Fig. 9, S. 161; Fig. 10 u. 11, S. 165 — A. Kenngott, Fig. 12, S. 308; Fig. 13 u. 14, S. 309.

Taf. III. — Vettin, Fig. 1, 2 u. 3, S. 246; Fig. 4, 5 u. 6, S. 247; Fig. 7, S. 249; Fig. 8, 9 u. 10, S. 250; Fig. 11 u. 12, S. 252; Fig. 13 S. 251; Fig. 14 u. 15, S. 254. — Pfaff, Fig. 16, S. 459; Fig. 17 u. 18, S. 463; Fig. 19 u. 20, S. 465; Fig. 21 u. 22, S. 467. — Reichenbach, Fig. 24, S. 622.

Taf. IV. — Bunsen u. Schischkoff; Fig. 1, S. 324; Fig. 2 u. 3, S. 325; Fig. 4, S. 344; Fig. 5, S. 352.

Taf. V. — Rijke, Fig. 1, S. 482; Fig. 2, S. 490; Fig. 3, S. 503; Fig. 4, S. 504. — Schaffgotsch, Fig. 5, S. 627. — Beetz, Fig. 6, S. 564, Fig. 7, S. 566.

Berichtigungen

zum Aufsatz von Clausius, Bd. CI.

S. 359 müssen die beiden letzten Formeln

anstatt: $\frac{1}{41.c}$ Grad C. und $\frac{p}{41.c}$ Grad C.

lauten: $\frac{1}{41.c.s}$ Grad C. und $\frac{p}{41.c.s}$ Grad C.

worin s das specifische Gewicht der Flüssigkeit ist

zum Aufsatz von A. Erman, Bd. CI.

S. 600 Z. 1 v. o. l. Ba st. Ca

S. 600 Z. 8 v. u. l. 1— $[\varepsilon]$ st. $[\varepsilon]$

S. 602 Z. 1 v. o. l. da s'' st. der s''

und S. 603 unter s

Z. 5 l. 2785

Z. 6 l. 3431

Z. 15 l. 0,03 ... st. 1,03 ...

zum Aufsatz von Nordenskjöld, Bd. CI.

S. 630 Z. 5 v. u. l. so genau st. so wenig

S. 633 Z. 16 u. 17 l. $\text{Fe}^2\ddot{\text{Ta}}^5$, welche erfordert 85,65 $\ddot{\text{Ta}}$ und 14,85 Fe ,
st. $\text{Fe}^3\ddot{\text{Ta}}^5$ welche erfordert 85,65 Fe und 14,82 $\ddot{\text{Ta}}$.

zum Aufsatz von H. Rose, Bd. CII

S. 552 Z. 4 v. u. l. VVasser st. alles VVasser.

I. *Elektrolytische Untersuchungen;*
von G. Magnus.

§. 1.

In der fünften und siebenten Reihe seiner Experimentaluntersuchungen hat Hr. Faraday das Gesetz der äquivalenten Zersetzung durch den galvanischen Strom aufgestellt. Derselbe unterscheidet hierbei (743) primäre und secundäre Zersetzung. Die erstere, bei welcher die Zersetzungsproducte (die Ionen) sich so an den Elektroden abscheiden, wie sie aus der Zersetzung hervorgehen; die andere bei welcher dieselben vor ihrer Abscheidung noch eine Veränderung ihrer Zusammensetzung in der Flüssigkeit erfahren. Zu den primären Zersetzungsproducten rechnete Hr. Faraday auch die Basis und die Säure des schwefelsauren Natrons (743), aber weder von diesem, noch von irgend einem andern Salze hatte es gelingen wollen nachzuweisen, daß die Abscheidung dieser Bestandtheile nach dem Gesetze der äquivalenten Zersetzung erfolge; vielmehr ist dieses Gesetz nur für solche Verbindungen nachgewiesen, die aus zwei einfachen Körpern bestehen.

§. 2.

Bekanntlich hat später Daniell gefunden, daß die alkalischen Salze jenem Gesetze nicht folgen, vielmehr sich so zersetzen, daß neben einem Äquivalent Säure und Basis noch ein Äquivalent Wasserstoff und Sauerstoff

abgeschieden wird; so dafs die Zersetzung der Salze hier- nach doppelt so grofs ist, als sie nach dem Faraday'schen Gesetze seyn sollte. Offenbar hat Daniell wohl empfunden wie grofs der Widerspruch ist in dem seine Versuche mit jenem Gesetze stehen. Auch geht aus den beiden Abhandlungen ¹⁾, welche er allein über diesen Gegenstand bekannt gemacht hat, sowie aus der später in Gemeinschaft mit Prof. Miller ²⁾ in London veröffentlichten, deutlich hervor wie sehr beide bemüht gewesen sind diesen Widerspruch zu beseitigen.

§. 3.

Um beurtheilen zu können, in wie weit ihnen dies gelungen sey, ist es nothwendig auf einige ihrer Versuche etwas näher einzugehen.

Daniell bediente sich für dieselben eines Zersetzungs-Apparates, der durch eine Scheidewand aus porösem Thon in zwei Zellen getheilt war, in denen sich die beiden Elektroden aus Platin befanden; dadurch war es möglich die Flüssigkeiten, welche die Elektroden umgaben, getrennt zu untersuchen. Zugleich konnte das Gas, das sich während des Versuchs entwickelte, aufgefangen werden. Wurden beide Zellen des Apparats mit der gleichen Salzlösung z. B. von schwefelsaurem Natron gefüllt, und wurde gleichzeitig ein mit verdünnter Schwefelsäure gefülltes Voltameter in den Strom eingeschaltet, so entwickelte sich aus der Salzlösung ein Volumen Gas, das dem im Voltameter entwickelten ganz gleich war; zugleich aber wurde das Salz zersetzt, denn es fand sich in der positiven Zelle eine Quantität freier Schwefelsäure, welche dem entwickelten Sauerstoff aequivalent war, und ebenso in der negativen Zelle eine diesem Sauerstoff aequivalente Menge freien Natrons.

1) *Philos. Transactions for 1839*, 89. 97. *Pogg. Ann. Erg. Bd. I*, S. 565. 580.

2) *Philos. Transactions for 1844*, 1. *Pogg. Ann. Bd. LXIV*, S. 18.

§. 4.

Die erste Frage, welche sich Daniell stellte, war die, ob nicht in dem Voltameter eine ähnliche doppelte Zersetzung stattgefunden habe, wie in dem schwefelsauren Natron. Da nämlich die verdünnte Schwefelsäure als eine chemische Verbindung von Schwefelsäure mit Wasser betrachtet werden kann, so lag der Gedanke nahe, daß neben der Zersetzung des Wassers auch eine Zersetzung dieses Hydrats stattgefunden habe. War dies der Fall, so mußten sich an der positiven Elektrode eine dem entwickelten Sauerstoff äquivalente Menge Schwefelsäure mehr als an der negativen finden.

Als in dem erwähnten mit der porösen Scheidewand versehenen Apparate statt der Salzlösung verdünnte Schwefelsäure angewandt wurde, fand Daniell auch in der That stets mehr Schwefelsäure in der positiven als in der negativen Zelle, allein die Menge, welche in die positive Zelle übergeführt worden war, betrug nie mehr als $\frac{1}{4}$ Äquivalent von dem entwickelten Sauerstoff. Dies Resultat wurde erhalten, die Schwefelsäure mochte mit geringen oder mit größeren Wassermengen verdünnt seyn.

§. 5.

Nachdem sich aus diesem Versuche ergeben hatte, daß die Zersetzung des Salzes jedenfalls sehr verschieden von der im Voltameter war, hat Daniell das eigenthümliche Verhalten der Salze dadurch noch bestimmter dargethan, daß er statt des Voltameters mit verdünnter Säure geschmolzenes Chlorblei gleichzeitig mit dem schwefelsauren Natron in den Strom einschaltete. Hierbei zeigte sich, daß für ein Äquivalent Chlorblei, wenigstens annähernd, ein Äquivalent schwefelsaures Natron und ein Äquivalent Wasser zersetzt wurde.

§. 6.

Um diese auffallende Erscheinung zu erklären, oder um sie in Uebereinstimmung mit dem Faraday'schen Ge-

setz zu bringen, glaubte Daniell das schwefelsaure Natron betrachten zu müssen, nicht, wie es allgemein geschieht, als bestehend aus Basis und Säure, sondern als zusammengesetzt aus Natrium mit einer Verbindung von ein Atom Schwefel und vier Atomen Sauerstoff ($S+4O$). Er hat diese Verbindung mit dem Namen Oxysulphion belegt, und ist der Ansicht, daß alle Sauerstoffsalze ähnlich zusammengesetzt seyen, so daß man das schwefelsaure Kupferoxyd als bestehend aus Kupfer und Oxysulphion, das salpetersaure Kali als zusammengesetzt aus Kalium und Oxynitrium u. dergl. m. betrachten müsse.

§. 7.

Wiewohl diese Ansicht Daniell's mit der von H. Davy zuerst aufgestellten von der Zusammensetzung der Salze übereinstimmt, und sich auch vom rein chemischen Standpunkte manches für dieselbe sagen läßt, wie dies namentlich auch von Berzelius im III. Bande S. 11 u. f. seines Lehrbuchs geschehen ist, so lassen sich doch, wie gleichfalls von Berzelius an derselben Stelle auseinander gesetzt wird, noch weit mehr Gründe gegen dieselbe vorbringen; unter denen einer der hauptsächlichsten seyn möchte, daß es bisher nicht hat gelingen wollen, weder das Oxysulphion noch irgend eine der analogen Verbindungen darzustellen.

Sollte indess in der That kein anderes Mittel vorhanden seyn die Zersetzung der Salze mit dem Faraday'schen Gesetz in Uebereinstimmung zu bringen, als dieselben nach der Daniell'schen Hypothese zusammengesetzt zu betrachten, so wäre dies für die Chemie von großer Bedeutung, weil man dann genöthigt seyn würde die herrschenden Ansichten zu verlassen und alle Salze in ähnlicher Weise zusammengesetzt zu betrachten.

§. 8.

Der größte Theil derer, welche sich nach Daniell und Miller mit der Zersetzung durch den galvanischen

Strom beschäftigt haben, sahen sich genöthigt die Daniell'sche Ansicht als die richtige anzuerkennen. So namentlich Hr. Buff in seiner Abhandlung *über das electrolytische Gesetz* ¹⁾, und Hr. De la Rive in dem zweiten Theile seines *Traité d'Electricité* ²⁾. Auch Hr. E. Becquerel bekennt sich in seiner Abhandlung: *Des Lois qui président à la décomposition électrochimique des corps* ³⁾ zu derselben Ansicht.

§. 9.

Hr. Hittorff ⁴⁾ ist in seinen Untersuchungen *über die Wanderung der Ionen* von einem andern Satze ausgegangen. Derselbe glaubt nämlich, daß wenn zusammengesetzte Atome eines Elektrolyten zersetzt werden, und der elektropositive Bestandtheil des einen Atoms sich, wie es die Grotthufs'sche Hypothese annimmt, mit dem elektronegativen des andern verbindet, diese beiden Bestandtheile nicht gerade in der Mitte zwischen jenen beiden zersetzten Atomen sich treffen, sondern auf $\frac{1}{3}$ oder $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{n}$ des Weges, je nachdem das eine Ion sich schneller bewegt als das andere. Diese Ansicht hat offenbar nichts zu thun mit der sogenannten doppelten Zersetzung; denn für ein Aequivalent des einen Ions, das an der einen Elektrode frei wird, muß immer das mit diesem verbunden gewesene Ion an der andern frei werden, gleich viel ob die Ionen zwischen den zwei Atomen, aus deren Zersetzung sie hervorgegangen sind, gleiche oder verschiedene Wege zurücklegen. Bei der doppelten Zersetzung handelt es sich aber nur um die freiwerdenden Bestandtheile. Die zahlreichen mit außerordentlicher Sorgfalt und Genauigkeit ausgeführten Versuche des Hrn. Hittorff sind in anderer Beziehung von großem Interesse, aber sie

1) *Annalen der Chemie und Pharmacie* LXXXV, 1.

2) *Tome II.* 313.

3) *Annales de Chim. et de Physique* III. Ser. *Tome XI*, 259.

4) *Pogg. Annal.* Bd. LXXXIX, S. 177 und Bd. XCVIII, S. 1.

haben nicht zum Zweck die Daniell'schen Beobachtungen zu erklären.

§. 10.

Dagegen sucht Hr. Kohlrausch¹⁾ in seiner Abhandlung *über die elektrischen Vorgänge bei der Elektrolyse* dies in folgender Weise zu erreichen. Nachdem derselbe durch sehr umfassende und genaue Versuche nachgewiesen hat, daß die Stromintensität innerhalb des Elektrolyten genau dieselbe wie in dem metallischen Theile des Schließungsbogens ist, geht er davon aus, daß jedes Mal wenn ein Atom ausgeschieden ist, ein neues in die Reihe der übriggebliebenen eintreten müsse. Dadurch legt, wie Hr. Kohlrausch meint, jedes Atom des Elektrolyten, nachdem es durch Elektrolyse einen kleinen Weg frei für sich, d. h. getrennt von dem andern Bestandtheile, zurückgelegt hat, einen andern kleinen Weg als unfrei d. h. wieder verbunden mit dem andern Bestandtheile zurück²⁾. So zerfalle der Act jeder einzelnen Zersetzung in zwei Theile, von denen jeder irgend eine kleine Zeit in Anspruch nimmt, einen ersten Theil, wo sich freie Elektricitäten bewegen, einen zweiten, wo das nicht der Fall ist, d. h. wo derselbe Weg von beiden Elektricitäten zugleich zurückgelegt wird.

§. 11.

Wiewohl die Versuche der HH. Daniell und Miller von keiner Seite aufgefochten sind, so habe ich doch geglaubt dieselben wiederholen zu müssen. Ich habe mich hierbei, wie bei allen folgenden Versuchen, der umsichtigen Unterstützung des Hrn. R. Weber zu erfreuen gehabt. Für die Wiederholung der Versuche bediente ich mich eines Zersetzungsapparates, bei dem die Elektroden in zwei durch eine poröse Scheidewand getrennten Zellen sich befanden und die entwickelten Gase getrennt aufgefangen werden konnten. Als Scheidewand benutzte ich bisweilen

1) Pogg. Annalen Bd. XCVII, S. 397 u. 559.

2) A. a. O. S. 564.

Platten aus gebranntem Thon, öfter noch thierische Blase, am meisten aber sogenanntes elektrisches oder Xyloidinpapier, das man sich leicht durch Einwirkung von concentrirter Salpetersäure auf starkes Schreibpapier verschaffen kann. Das angewandte war so dicht, daß wenn die eine Zelle ganz mit Wasser oder Säure gefüllt wurde, und die andere leer blieb, selbst nach einer Stunde keine Flüssigkeit in die leere Zelle eingedrungen war. Es ist dies Papier einer Scheidewand aus gebranntem Thon vorzuziehen, weil es weniger dick ist als diese, und daher weniger Flüssigkeit einsaugt, außerdem aber sehr leicht erneut werden kann. Ich habe jedoch bei Anwendung dieses Papiers gefunden, daß wenn man die Gasarten aus jeder Zelle getrennt auffängt, wie dies Daniell gethan hat, leicht Irrthümer entstehen können. Es ist nämlich hierbei kaum zu erreichen, daß die Entwicklung aus beiden Zellen unter ganz gleichem Druck geschieht, wenn aber ein verschiedener Druck während längerer Zeit anhält, so kommt es doch bisweilen vor, daß derselbe ein allmähliges Uebergehen der Flüssigkeit in die Zelle bewirkt, in welcher der geringere Druck vorhanden ist. Es wurde deshalb das Gas aus beiden Zellen in ein gemeinsames Rohr geleitet und zusammen aufgefangen. Dann fand kein Uebergehen der Flüssigkeit statt, da die in neuerer Zeit von Hrn. Wiedemann bearbeitete elektrische Endosmose bei den gut leitenden Salzlösungen, die bei diesen Versuchen angewandt wurden, nicht vorkommt. In beiden Zellen wurden gleiche Volumina der zu zersetzenden Flüssigkeit gebracht. Um aber nach beendetem Versuch die Quantitäten der ausgeschiedenen Säure und Basis zu bestimmen, wurde der Inhalt jeder Zelle in ein besonderes Glas entleert, die Zelle wiederholt mit destillirtem Wasser ausgespült, und sodann die freie Basis der negativen durch Titriren mit einer normalen verdünnten Schwefelsäure, und die freie Säure der positiven Zelle durch Titriren mit Ammoniak bestimmt.

Zugleich mit diesem Zersetzungsapparate war ein mit

verdünnter Schwefelsäure vom specifischen Gewicht 1,39 gefülltes Voltameter in den Strom eingeschaltet.

§. 12.

Bei Anwendung von schwefelsaurem Natron in dem Zersetzungsapparat waren die Gasmengen, welche sich aus diesem und aus dem Voltameter entwickelten stets sehr nahe einander gleich. Die Menge der ausgeschiedenen Säure betrug aber niemals ein volles Aequivalent des Sauerstoffs, sondern bisweilen 80, bisweilen einige und 70, bisweilen auch nur einige und 60 Proc. davon. Diese Abweichung konnte ihren Grund möglicher Weise darin haben, daß der angewandte Strom nicht die richtige Intensität besaß, so daß nicht das Salz allein, sondern ausserdem auch noch Wasser direct durch den Strom zersetzt worden war. Denn es giebt kein Mittel um zu bestimmen, ob dies der Fall sey oder nicht.

§. 13.

Statt des schwefelsauren Natrons wurde auch verdünnte Schwefelsäure vom specifischen Gewicht 1,01 in den Zersetzungsapparat mit der Scheidewand gebracht, und zwar in jede Zelle desselben gleich viel. Nachdem der Strom längere Zeit hindurchgegangen war, fand sich in der positiven Zelle stets mehr Säure als in der negativen, aber niemals eine dem im Voltameter entwickelten Sauerstoff äquivalente Menge, sondern in einem Versuch nur 15,4 Proc., in einem andern 22,4 Proc. von dem Aequivalent des Sauerstoffs im Voltameter.

§. 14.

Da die Versuche mit dem schwefelsauren Natron zweifelhaft gelassen hatten, ob dieses Salz allein zersetzt worden war, so wurde statt dessen schwefelsaures Kupferoxyd angewandt. Wenn bei diesem Salze die Stärke des Stromes so gewählt wird, daß sich nur Kupfer und kein Wasserstoff an der negativen Elektrode abscheidet, so ist man sicher, daß die volle zersetzende Wirkung des Stromes nur auf das Salz, und nicht auch auf das Lösungsmittel ausgeübt wird. Ausserdem gewährt dasselbe den Vortheil, daß

sich das ausgeschiedene Metall nicht wieder mit der Säure verbinden kann, selbst wenn diese etwa in Folge der mechanischen Wirkung des Stromes in die negative Zelle zurückgeführt werden sollte.

§. 15.

Zwar ist bekannt, daß bei diesem Salze wie bei den Silber- und ähnlichen Salzen, die Menge des ausgeschiedenen Metalls dem Sauerstoff äquivalent ist, der sich in einem in dem Strom befindlichen Voltameter entwickelt, ich habe mich indess auch hiervon zunächst noch durch Versuche überzeugt. Sodann wurde die Quantität der freigewordenen Säure mit dem an der negativen Elektrode abgesetzten Metall verglichen.

§. 16.

Die Silbersalze eignen sich zu diesen Versuchen nicht, weil sich Silbersuperoxyd an der positiven Elektrode bildet, und dadurch eine Quantität Säure frei wird. Deshalb wurden dieselben nur mit schwefelsaurem Kupfer ausgeführt. Da dies aber nicht neutral gegen Pflanzenfarben reagiert, so konnte die Säure nicht wie beim schwefelsauren Natron durch Titrieren mit Ammoniak bestimmt werden, sondern es mußte sowohl die freie, als die mit Kupferoxyd verbundene Menge derselben, in jeder Zelle durch Chlorbaryum ermittelt werden; und ebenso mußte das Kupferoxyd durch Ausfällen mittelst caustischen Kalis bestimmt werden. Zu dem Ende wurden, nachdem die Elektrolyse beendet war, aus jeder Zelle zwei gleiche Volumina abgemessen, von denen das eine mit Chlorbaryum, und das andere mit caustischem Kali gefällt wurde. Auf diese Weise zeigte sich, daß für das an der negativen Elektrode ausgeschiedene Metall ein volles Äquivalent Schwefelsäure frei geworden war; allein von diesem waren nur 60 bis 70 Proc. in der negativen Zelle enthalten, die übrigen befanden sich in der positiven. Es wird folglich von den beiden zur positiven Elektrode wandernden Substanzen, nur von dem Sauerstoff ein volles Äquivalent

übergeführt, nicht aber von der Säure, wenigstens nicht bei Anwendung einer Scheidewand aus thierischer Blase.

§. 17.

Dieses Resultat ist der Daniell'schen Hypothese entgegen, denn wenn das schwefelsaure Kupferoxyd aus Kupfer und aus Oxysulphion bestände, so müßte dieses letztere als solches zur positiven Elektrode gelangen. Wenn dasselbe auch so leicht zersetzbar seyn sollte, daß es sich an dieser Elektrode in Sauerstoff und Schwefelsäure zerlegt, so ist doch kein Grund vorhanden, weshalb eine solche Zerlegung schon innerhalb der Flüssigkeit stattfinden, und weshalb ein Theil der Schwefelsäure in der negativen Zelle zurückbleiben sollte, obgleich die ganze Menge des Sauerstoffs zur positiven Elektrode wandert.

Die Zersetzung ist zwar bei diesen Salzen insofern eine doppelte zu nennen, als sich für ein Aequivalent Sauerstoff des Voltameters ein volles Aequivalent Sauerstoff und ein Aequivalent Säure ausgeschieden haben, indess bedarf es, wie ich glaube, nicht der Daniell'schen Hypothese, deren Unhaltbarkeit sich aus dem Versuche §. 16 ergibt, um diese sogenannte doppelte Zersetzung zu erklären. Daniell fand sich, wie aus seiner Replik auf die Einwände ¹⁾ hervorgeht, welche Hr. Dr. Hare gegen seine Theorie erhoben hatte, zu dieser Ansicht dadurch besonders veranlaßt, daß er auf keine andere Weise zu erklären vermochte, wie es zugehe, daß derselbe Strom welcher das Metall zur negativen Elektrode, also in der einen Richtung fortführt, den Sauerstoff und die Säure, also zwei Körper, in entgegengesetzter Richtung fortzuschaffen vermag.

Mir scheint indess diese Schwierigkeit fortzufallen, wenn man den Vorgang der Elektrolyse mit den übrigen bekannten Erscheinungen der Elektricität in Uebereinstimmung bringt.

§. 18.

Wird eine Auflösung von schwefelsaurem Kupferoxyd

1) *Phil. Mag. T. XXII, p. 461.*

mittelst zwei Elektroden aus Kupfer zersetzt, so nimmt die positive Elektrode an Gewicht ab und die negative nimmt, wenn keine Störungen stattfinden, um ebenso viel durch abgesetztes Kupfer zu. In der Flüssigkeit selbst ist keine Veränderung, keine Zersetzung wahrnehmbar. Allein das Kupfer auf der negativen Elektrode ist offenbar aus der diese Elektrode berührenden Schicht der Auflösung abgegeben worden und ebenso ist das Kupfer der positiven Elektrode zunächst in die, diese Elektrode berührende Schicht der Flüssigkeit übergegangen.

Denkt man sich die ganze Flüssigkeit durch Ebenen, die den Elektroden parallel sind, in unendlich viele Schichten getheilt, so findet ohne Zweifel in jeder derselben gleichzeitig dieselbe chemische Zersetzung statt. Aus der der negativen Elektrode nächsten Schicht wird Kupfer an diese abgegeben, die übriggbleibende Säure und der Sauerstoff bilden dann für die nächste Schicht gleichsam die Elektrode, indem sie das Kupfer aus derselben aufnehmen und sich damit vereinigen. Auf diese Art gelangt das Kupfer aus einer Schicht in die andere. Die Schwefelsäure aber und der Sauerstoff bleiben in der der positiven Elektrode nächsten Schicht übrig, um sich mit dem Kupfer dieser Elektrode zu verbinden.

§. 19.

Die Voraussetzung dafs in jeder Schicht des Elektrolyten gleichzeitige Zersetzung und Vereinigung der Bestandtheile während der Wirkung des Stromes stattfindet, hat zwar etwas widerstrebendes; allein die Wirkung des Stromes ist offenbar nicht continuirlich, sondern sie beruht auf fortwährende, in unendlich kleinen Zeiten auf einander folgende Entladungen; indem offenbar eine, wenn auch noch so kurze Zeit erforderlich ist, bis die Elektroden die zur Entladung nöthige Menge von Elektrizität aufgenommen haben. Ist dies geschehen, so geht die Zersetzung oder Trennung der Bestandtheile in allen Schichten vor sich, sobald diese aber erfolgt, so vereinigen sich die in

den verschiedenen Schichten ausgeschiedenen Bestandtheile wieder, um gleich darauf von Neuem zersetzt zu werden.

§. 20.

Wird das Kupfer statt durch Kupferelektroden unter Anwendung von Platinelektroden zersetzt, so ist der Vorgang ganz ähnlich, nur verbinden sich dann die Schwefelsäure und der Sauerstoff nicht mit dem Metall der positiven Elektrode, sondern sie werden beide frei. Während dann an der negativen Elektrode ein Aequivalent Metall sich ausscheidet, werden in der Flüssigkeit zwei Aequivalente frei, nämlich ein Aequivalent Säure und ein Aequivalent Sauerstoff, von denen das letztere vollständig zur positiven Elektrode gelangt, die Säure aber nur theilweis.

§. 21.

Ebenso werden auch das schwefelsaure Natron und die übrigen alkalischen Salze zersetzt. Es scheidet sich statt des Kupfers ein Aequivalent Natrium an der negativen Elektrode ab. Dies zersetzt aber das Wasser und entwickelt ein Aequivalent Wasserstoff; das entstandene Natriumoxyd bleibt frei in der negativen Zelle. In der positiven findet sich wie beim Kupfersalz das Aequivalent oder ein Theil des Aequivalents freier Säure und ein Aequivalent Sauerstoff. Der Wasserstoff ist hiernach das Product einer secundären Zersetzung.

§. 22.

Dafs sich nicht das ganze Aequivalent der freien Säure in der positiven Zelle findet (§. 16); kann davon herrühren, dafs die Scheidewand ein Hindernifs für ihren Durchgang bildet; oder dafs die an der positiven Elektrode bereits abgeschiedene Säure durch die Scheidewand hindurchgegangen ist. Es sind indefs hierfür auch noch andere später (§. 90) zu erwähnende Gründe vorhanden. Jedenfalls geht aber aus dieser Erscheinung hervor, dafs die Elektroden ihre anziehende oder bindende Kraft auf die Zersetzungsproducte nur während des Moments der Zersetzung ausüben, und dafs, wenn diese erfolgt ist, auch keine Anziehung mehr vorhanden ist.

§. 23.

Man kann sich hiervon auf eine sehr leichte Weise überzeugen, wenn man ein alkalisches Salz zur Zersetzung anwendet. Setzt man diesem etwas Lackmus hinzu, und trennt die Elektroden durch die Scheidewand, die nur aus Leinwand zu bestehen braucht, so färbt sich, wenn die Zersetzung beginnt, die Flüssigkeit dicht an den Elektroden, nach einiger Zeit aber ist die ganze positive Zelle roth und ebenso die ganze negative blau gefärbt, so daß die beiden Farben mit der Scheidewand genau abscheiden.

§. 24.

Um eine klarere Vorstellung von den Erscheinungen der Zersetzung geben zu können, wird es zweckmäßig seyn, zunächst noch auf einige Versuche einzugehen.

Wendet man zur Zersetzung ein Metallsalz, z. B. schwefelsaures Kupferoxyd gelöst in Wasser an, so ist es wie bekannt stets möglich die Stromstärke so zu wählen, daß nur Kupfer ausgeschieden wird, ohne daß sich Wasserstoff entwickelt. Diefes tritt erst auf, wenn entweder die Intensität des Stromes verstärkt, oder wenn die Menge des Salzes in der Flüssigkeit vermindert wird.

§. 25.

Ebenso zersetzt der Strom, wenn das Wasser mehrere Salze gelöst enthält, bei einer gewissen Stärke nur Ein Salz. Sind z. B. schwefelsaures Kupfer und schwefelsaures Silber in derselben Flüssigkeit enthalten, so scheidet sich bei einem gewissen Verhältniß dieser Salze und einer entsprechenden Stromstärke nur Silber aus, und wenn die Menge des Silbers in der Flüssigkeit geringer, oder wenn die Stromstärke größer geworden ist, wird zugleich mit dem Silber auch Kupfer ausgeschieden.

§. 26.

Statt des schwefelsauren Silbers kann auch salpetersaures neben schwefelsaurem Kupfer in der Flüssigkeit vorhanden seyn; ebenso Chlorsilber in Ammoniak gelöst neben Kupferchlorid, immer wird zuerst, d. h. innerhalb einer gewissen Stromstärke, Silber ausgeschieden.

§. 27.

Sind Chlorkupfer und Chlorzinn in derselben Flüssigkeit gelöst, so scheidet der Strom zunächst nur Kupfer aus, und in ähnlicher Weise läßt sich zeigen, daß bei Anwendung der verschiedensten Salze durch eine gewisse Stromstärke immer nur Ein Salz zersetzt wird.

§. 28.

Ob übrigens ein Metall allein, oder mit einer größeren oder geringeren Beimischung eines anderen ausgeschieden wird, hängt von verschiedenen Bedingungen ab, zunächst, wie schon erwähnt, von dem Verhältniß, in dem sich die verschiedenen Metalle in der Lösung vorfinden, so wie von dem negativen Körper, mit dem sie verbunden sind. Bekanntlich hat Hr. Poggendorff ¹⁾ gezeigt, daß die Reihe der galvanischen Ausscheidungen für die Metalle, wenn sie in Lösungen von Cyankalium enthalten sind, eine ganz andere ist als wenn sie mit Säuren verbunden sind. Ebenso kann man aus einer Mischung von Kupfer und Zink in Säuren nur Kupfer aber kein Messing durch den Strom niederschlagen; versetzt man aber die Mischung mit Cyankalium, so wird das Zink zugleich mit dem Kupfer gefällt und man erhält die Legirung.

Im Allgemeinen hat sich herausgestellt, daß von den folgenden Metallen, wenn mehrere derselben mit Säuren verbunden in derselben Lösung vorhanden sind, das voranstehende immer früher ausgefällt wird. Zink, Cadmium, Blei, Zinn, Kupfer, Wismuth, Silber, Gold.

§. 29.

Die Reihenfolge ist, wie man leicht sieht, keine andere als die, in welcher jene Metalle sich gegenseitig ohne Anwendung des Stromes fällen.

Auch bei diesen gegenseitigen Fällungen ist indess der Einfluß des negativen Körpers, mit dem die Metalle verbunden sind, so bedeutend, daß es unmöglich ist eine allgemein gültige Reihenfolge aufzustellen. So fällt z. B. das Silber das Gold aus einer neutralen Lösung von Chlor-

1) Pogg. Ann. Bd. LXVI, S. 597.

gold, wendet man aber eine Lösung von Gold in Cyankalium an, so ist die Fällung sehr unvollständig, weil das Cyankalium auf das Silber wirkt. Das Quecksilber fällt das Kupfer weder aus dem schwefelsauren noch aus dem salpetersauren Salze, wohl aber aus den Chlorverbindungen, unter Bildung von Quecksilberchlorür. Ebenso hat die Temperatur einen bedeutenden Einfluß auf diese Fällungen ¹⁾.

§. 30.

Aus der Reihenfolge der Ausscheidungen mittelst der Säule geht hervor, daß es für die verschiedenen Substanzen verschiedener elektrischer Einwirkungen bedarf, um sie in ihre Bestandtheile zu zerlegen. Oder daß es für jeden Elektrolyten, der mehrere zersetzbare Substanzen enthält, eine Gränze giebt, bei welcher nur die eine dieser Substanzen zersetzt wird, so daß, wenn diese Gränze überschritten wird, auch die Zersetzung einer zweiten Substanz beginnt.

Ich habe mich überzeugt, daß diese Gränze bei unverändertem Elektrolyten, und unveränderter GröÙe der Elektroden stets bei derselben Intensität des Stromes eintritt, ganz unabhängig von der Construction der Säule und der Anzahl der Platten, wenn nur der Widerstand so gewählt ist, daß die Intensität dieselbe bleibt.

§. 31.

Die Gränze der Intensität, die ich im Folgenden kurz die Gränze oder den Gränzwertb nennen werde, ist abhängig, erstens von der GröÙe der Elektroden, zweitens von der Zersetzbarkeit der verschiedenen Bestandtheile des Elektrolyten, so wie drittens von dem Verhältniß, in welchem sich diese in demselben vorfinden.

§. 32.

Hat man für eine bestimmte Auflösung z. B. von schwe-

1) Als diese Versuche bereits beendet waren, fand ich in dem *Quarterly Journal of the Chemical society, London 1857, Vol. IX, p. 289* eine sehr interessante Arbeit von Hrn. Odling: *On the Reciprocal Precipitations of the Metals*, die eine Anzahl ähnlicher Anomalien behandelt.

felsaurem Kupferoxyd, unter Anwendung bestimmter troden die Stromstärke ermittelt, bei welcher das M allein ausgeschieden wird, die aber, sobald man sie gert, sogleich eine Entwicklung von Wasserstoff bew und man fügt, ohne eine solche Steigerung vorzunel der Auflösung eine Spur von Schwefelsäure hinzu, so sich sogleich jenes Gas. Die geringe Menge von S macht das Wasser besser leitend und bewirkt dadurch, die Elektrizität aus den Elektroden nicht mehr wie fi an die Salztheile allein, sondern zugleich auch an die besser leitende verdünnte Säure übergeht. Es wird de weniger von dem Kupfersalz, und dafür eine entsprech Menge der verdünnten Säure oder des mit dieser ver denen Wassers zersetzt.

§. 33.

So bedeutend ist der Einfluß der Säure, daß eine lösung von gewöhnlichem krystallisirtem Kupfervitriol immer eine viel niedrigere Gränze für die Ausscheid des Kupfers zeigt, als dasselbe Salz, wenn es vorher glüht, und dann in derselben Menge Wasser gelöst wor Es haftet nämlich dem krystallisirten käuflichen Kupf triol gewöhnlich etwas Säure an, und diese erniedrigt Gränzwert h.

§. 34.

Man kann aber das Auftreten von Wasserstoff vermeiden, selbst wenn die Flüssigkeit freie Säure ent es ist dafür nur nöthig die Stromintensität geringer machen. Mir scheint hierdurch die Ansicht des Hrn. meida widerlegt zu werden, nach welcher bei einer tralen Salzlösung das am negativen Pole abgesetzte M von einer directen Zersetzung des Salzes herrührt, einer sauren hingegen von einer secundären, herbe führt durch den aus der Zersetzung von Wasser ent denen Wasserstoff.

§. 35.

Leitet man durch einen zusammengesetzten Elektroly z. B. durch eine Auflösung von schwefelsaurem Kupfer

in Wasser einen Strom, dessen Intensität innerhalb des Gränzwertes ist, so geht die ganze Menge der Elektrizität nur in die Theile des Elektrolyten über, für welches dieser Gränzwert gilt, d. i. hier in das Salz. Der Gränzwert selbst entspricht daher dem Maximum von Elektrizität, welches an das Salz übergehen kann. Da die Gränze dieselbe bleibt, wie man auch den Schließungsbogen verändern mag, wenn nur die Summe der Widerstände ungeändert bleibt, oder wenn man die elektromotorische Kraft in entsprechender Weise ändert, so muß auch der Gränzwert derselbe bleiben für verschiedene Längen des Elektrolyten, vorausgesetzt daß sein Querschnitt und seine Zusammensetzung ungeändert bleiben. Es folgt hieraus, daß wie lang auch die Schicht des Elektrolyten seyn mag, durch welche die Elektrizität hindurchgeht, doch die Menge welche von der Elektrode an das Salz allein übergehen kann stets dieselbe ist. Die Richtigkeit dieses Satzes durch Versuche festzustellen, schien mir von besonderem Interesse.

§. 36.

Um zu untersuchen, in wie weit diese Unveränderlichkeit des Gränzwertes vorhanden sey, wurde auf folgende Weise verfahren.

Der Strom von zwei oder drei Grove'schen Elementen wurde durch eine Auflösung von schwefelsaurem Kupferoxyd und durch einen Draht geleitet, dessen Länge leicht verändert werden konnte. Hierfür bediente ich mich des von Hrn. Poggendorff angegebenen Rheochords, mittelst dessen der Widerstand so lange geändert wurde, bis der erwähnte Gränzwert erreicht war. Dann wurde die Stromintensität an einem mit Spiegel versehenen Galvanometer mittelst Fernrohr und Scale abgelesen.

Zur Zersetzung wurden Elektroden aus Kupfer benutzt, die sich in einem aus Spiegelgläsern zusammengesetzten viereckigen Kasten befanden, dessen innere Breite gleich 20^{mm} war. Die Elektroden nahmen diese ganze Breite ein und paßten so genau, daß es schwierig war sie zu verschieben. Um aber ihre Entfernung schnell und mit hin-

reichender Sicherheit so ändern zu können, daß ihre Lage parallel blieb und sie genau bis zu derselben Tiefe in die Flüssigkeit eintauchten, waren auf dem Kasten zwei Leisten aus hartem Holz parallel in einem Abstände von 20^{mm} befestigt. Diese Leisten hatten mehrere Einschnitte, die genau 10^{mm} von einander entfernt waren und in beiden Leisten genau einander gegenüber standen. Der aus dem Kasten hervorragende Theil der Elektroden paßte genau in ein Paar dieser Einschnitte. Er war deshalb breiter als der übrige, nämlich 24^{mm} breit. Dadurch entstand ein auf jeder Seite um 2^{mm} über die Wand des Kastens vorstehender Theil, der in die Einschnitte eingeschoben wurde, und deshalb etwas dünner war als die übrige Elektrode, die eine Dicke von 2^{mm} hatte.

Liefs man die eine Elektrode in ihren Einschnitten, brachte aber die andere nach einander in verschiedene immer um 10^{mm} entfernte Einschnitte, so änderte man dadurch die Länge des Elektrolyten um ebenso viel.

Die Elektroden reichten stets bis auf den Boden des Kastens. Damit sie aber immer gleich tief in die Flüssigkeit eintauchten, mußte der Kasten vollkommen horizontal stehen. Zu dem Ende befand er sich auf einer Platte, die mittelst Stellschrauben horizontal gestellt werden konnte.

§. 37.

Beide Elektroden mußten aus demselben Metall seyn, denn wenn sie aus verschiedenen Metallen gewesen wären, so konnte durch ihre Berührung mit dem Elektrolyten leicht ein Strom entstehen, durch den der Gränzwertb zu groß oder zu gering ausgefallen wäre. Ist die eine Elektrode Kupfer und die andere Platin, so ist die secundäre Wirkung so gering, daß sich kein störender Einfluß erkennen läßt. Wenn aber beide Metalle in der Spannungsreihe weiter von einander abstehen, so ist ihr Einfluß unverkennlich.

§. 38.

Da bei den zur Zersetzung erforderlichen Strömen die Ablenkungen des Galvanometers zu groß ausgefallen wä-

ren, um mit der vorhandenen Scale beobachtbar zu seyn, so war das Galvanometer nicht direct in den Strom eingeschaltet, sondern in einem Zweigstrome enthalten. Die Ablenkungen entsprachen daher nicht der ganzen Intensität des Stromes, sondern nur einem Theile derselben. Da aber die Abzweigung immer in derselben Weise statt fand, so waren die Angaben den Stromintensitäten proportional.

§. 39.

Das Fernrohr und die Scale befanden sich in 3 Meter Entfernung von dem Spiegel des Galvanometers. Da die beobachteten Ablenkungen nie mehr als 0,75 Meter betrugen, so konnten die Theile der Scale als proportional den Tangenten der Winkel genommen werden, um welche der Spiegel abgelenkt war, und folglich auch proportional den Stromintensitäten.

Um indeß zu untersuchen, in wie weit diese Proportionalität wirklich vorhanden sey, wurden die Angaben des Galvanometers verglichen mit denen einer Sinusboussole, die direct in den Strom eingeschaltet war, bei der indeß die Nadel durch einen Differentialstrom abgelenkt wurde. In der folgenden Tabelle enthält Columnne II die Angaben der Tangentenboussole, Columnne III die gleichzeitigen Angaben der Sinusboussole, und Columnne IV die diesen entsprechenden Sinus. Endlich Columnne V die unter der Voraussetzung berechneten Werthe, daß die erste Beobachtung genau richtig ist, oder daß 360 Scalentheile genau dem $\text{Sinus} = 0,305$ entsprechen. Columnne I giebt die Anzahl der Elemente an, welche zur Hervorbringung des Stromes verwendet wurden.

Vergleichung der Angaben der Tangenten- mit der Sinus-Boussole.

I. Anzahl der Elemente.	II. Tangenten- Boussole.	III. Sinus- Boussole.	IV. Sinus.	V. Berechnete Sinus.
1	360 ^{mm}	17° 48'	0,305	0,305
»	344	17	0,292	0,291
2	545	27 40	0,464	0,461
»	510	25 20	0,427	0,432
3	653	34 20	0,564	0,553
»	620	32 10	0,532	0,525
4	710	37 35	0,609	0,601
»	730	38	0,615	0,618

Die beiden letzten Columnen stimmen so genau überein, daß man die erwähnte Proportionalität als erwiesen ansehen kann. Wahrscheinlich ist das für die Berechnung der Columnen V zu Grunde gelegte Verhältniß nicht ganz richtig, sonst würden die beobachteten und berechneten Zahlen noch besser übereinstimmen.

§. 40.

Nachdem die Apparate gehörig geprüft worden, wurde zur Bestimmung des Gränzwertes übergegangen. Diese bietet indess mannichfache Schwierigkeiten, und kann keine große Genauigkeit gewähren. Wird ein Metallsalz, z. B. schwefelsaures Kupferoxyd, durch zwei Elektroden aus demselben Metall, hier also aus Kupfer, so zersetzt, daß an der negativen Elektrode nur Kupfer aber kein Wasserstoff frei wird, so sollte man glauben daß keine Polarisation eintrete. Allein es zeigt sich eine Erscheinung die, man mag sie bezeichnen wie man will, jedenfalls sehr störend ist. Es ändert sich nämlich die Zusammensetzung der Flüssigkeitsschicht, welche die negative Elektrode berührt, indem die in ihr enthaltenen Salztheile ihr Metall an die Elektrode absetzen ohne daß dieselben aus der Flüssigkeit sogleich ersetzt werden. Dadurch wird das specifische Gewicht dieser Schicht geringer und sie steigt längs der Elektrode in die Höhe. Eine ähnliche, wenngleich nicht so bedeutende Veränderung geht auch in der die positive Elektrode berührenden Schicht vor, indem das an dieser neu entstehende Salz nicht sogleich fortgeführt wird. So bedeutend sind

diese Veränderungen, daß man sie an der negativen Elektrode durch die Farbe, oder wenn statt des schwefelsauren Kupfers ein farbloses Salz angewendet wird, durch die veränderte Lichtbrechung wahrnehmen kann. Sie zeigt sich schon nachdem die Zersetzung kurze Zeit gewährt hat, und nimmt allmählich an Dicke zu. Mit dieser Zunahme nimmt die Intensität des Stromes ab, bis plötzlich Wasserstoff an der negativen Elektrode auftritt. Das Auftreten des Wasserstoffs bei abnehmender Stromintensität ist ein neuer Beweis dafür, daß die Flüssigkeit zunächst der negativen Elektrode ärmer an Metall geworden ist, denn wäre die Zusammensetzung der Flüssigkeit unverändert geblieben, so hätte Wasserstoff nur bei vermehrter Stromintensität entstehen können.

§. 41.

Wie eigenthümlich die Erscheinungen sind, welche durch die veränderte Zusammensetzung der die Elektroden berührenden Schicht entstehen können, mag folgendes beweisen.

Wird salpetersaures Kupferoxyd mittelst Kupferelektroden zersetzt, so daß sich anfangs Gas entwickelt, so hört diese Entwicklung doch nach kurzer Zeit an der negativen Elektrode auf. Wird dann aber die Kette geöffnet, so tritt ohne daß ein Strom vorhanden ist, eine Gasentwicklung an dieser Elektrode ein.

Nimmt man die negative Elektrode aus dem Elektrolyten heraus bevor die Kette geöffnet worden, und taucht sie in verdünnte Salpetersäure, so entsteht ebenfalls eine Gasentwicklung, und es löst sich der pulverförmige Niederschlag, der sich auf der Elektrode gebildet hatte, in der Säure auf. Taucht man die Elektrode in verdünnte Schwefel- oder Chlorwasserstoffsäure, so entsteht keine Gasentwicklung, auch löst sich das ausgeschiedene Kupfer nicht auf. Die Gasentwicklung beim Oeffnen der Kette entsteht daher dadurch, daß die Elektrode wieder mit Salpetersäure von der ursprünglichen Concentration in Berührung kommt, was sie nicht ist, so lange die Kette geschlos-

sen bleibt, da die veränderte Schicht in der sie sich befindet, jedenfalls eine weniger concentrirte Salpetersäure, wahrscheinlich salpetersaures Ammoniak enthält.

Auch aus schwefelsaurem Kupferoxyd kann man das Kupfer so fein vertheilt auf der negativen Elektrode niederschlagen, daß es sich, wenn die Elektrode in verdünnte Salpetersäure gebracht wird, in dieser löst. Ist aber der Niederschlag dicht und cohärent, so löst er sich nicht. Ebenso findet auch in der salpetersauren Lösung das sonderbare Phänomen der Gasentwicklung beim Oeffnen der Kette nicht statt wenn man den Absatz von Kupfer hat ganz dicht und fest werden lassen.

§. 42.

Um einigermaßen sichere Bestimmungen des Gränzwertthes zu erhalten, habe ich nach vielen vergeblichen Versuchen kein besseres Mittel aufzufinden gewußt, als die Beobachtungen immer innerhalb derselben Zeit von 15 Sekunden zu beenden. Zeigte sich während dieser Zeit Wasserstoff, so hielt ich den Gränzwert für überschritten, zeigte sich dasselbe in dieser Zeit nicht, so wurde die Stromstärke vermehrt, bis die Gasentwicklung eben anfang sich zu zeigen. Nach jeder Beobachtung wurde die Flüssigkeit in dem ziemlich langen Kasten hin und her bewegt, um die den Elektroden anhaftende Flüssigkeit zu verändern. Nach acht höchstens zehn Beobachtungen wurde der ganze Inhalt des Kastens erneut.

Bei der Beobachtung wurde so verfahren, daß ein Beobachter die Veränderung des Rheochords nach Anweisung des anderen übernahm, der die negative Elektrode mit einer Loupe von großer Brennweite beobachtete. Sobald der Gränzwert erreicht war, wurde die Ablenkung des Spiegels am Galvanometer durch das Fernrohr abgelesen. Damit die Beobachtung des Zeitpunktes, in dem die Wasserstoffentwicklung beginnt, sicherer ausfallen möchte, wurden die Beobachtungen stets wiederholt nachdem die beiden Beobachter ihre Aufgaben vertauscht hatten.

§. 43.

In dieser Weise sind die folgenden Zahlen für verschiedene, aber in Bezug auf ihre Concentration ähnliche Auflösungen von schwefelsaurem Kupferoxyd erhalten.

	Entfernung der Elektro- den von einander.	Ablenkung des Spiegels beim Gränz- werth.		Entfernung der Elektro- den von einander.	Ablenkung des Spiegels beim Gränz- werth.
I	10 ^{mm}	455 ^{mm}	IV	10	338 ^{mm}
		460		20	335
	20	460		30	339
		458		40	337
	30	455		50	335
		462	V	10	336
II	40	460		20	337
		462		30	335
	10	400		40	388
		398		50	339
	20	398			
III	10	320			
	20	325			
	30	320			

Es geht aus denselben hervor, daß der Gränzwertb oder die Quantität der Elektricität, welche an die Theile des Salzes übergeht, stets dieselbe ist, die Schicht des Elektrolyten, durch welche der Strom hindurchgeht, mag länger oder kürzer seyn; vorausgesetzt daß derselbe, wie es hier der Fall war, überall denselben Querschnitt hat.

§. 44.

Wenn bei unverändertem Querschnitt des Elektrolyten dieselbe Menge von Elektricität an die Theile des Salzes übergehen kann, so ist es wahrscheinlich, daß bei verändertem Querschnitt, unter übrigens gleichen Umständen, eine dem Querschnitte proportionale Menge an diesen übergehen könne, oder daß die Gränze sich proportional mit der Größe der Elektroden ändere.

§. 45.

Die Bestimmungen jener Gränze für verschiedene Größen der Elektroden bietet indeß noch eine neue Schwierigkeit.

rigkeit. Es ist bekannt, daß an rauhen Oberflächen sich Wasserstoff leichter als an glatten entwickelt. Zwar ist die Menge des Gases, die bei gleicher Stromintensität in gleichen Zeiten frei wird, an einer rauhen Fläche nicht größer als an einer glatten, allein das Gas entwickelt sich an der ersteren in größeren Blasen, und deshalb ist das erste Auftreten desselben deutlicher wahrnehmbar als an glatten Flächen. Blicke die negative Elektrode in ihrer ganzen Ausdehnung bei allen Versuchen von gleicher Beschaffenheit, d. h. gleichmäßig rau oder glatt, so würde die größere oder geringere Rauheit derselben keinen Einfluß auf die Bestimmung des Gränzwertes üben, wenn sie aber in dem einen Falle rauher als in dem andern ist, oder wenn einzelne Stellen rauher werden als die andern, so wirkt dies störend für die Bestimmung der Stromintensität, bei welcher das Gas zuerst sich zeigt.

§. 46.

Scheidet man Kupfer durch eine geringe Stromintensität aus, so bedeckt sich die Elektrode ganz gleichförmig. Steigert man aber die Intensität, auch nur nahe bis zum Gränzwert, so setzt sich das Metall vorzugsweise an den Rändern und Kanten ab, und macht hier die Oberfläche uneben. Ich wage nicht zu sagen, worauf diese Wirkung der Ecken und Kanten beruht. Es liegt wohl der Gedanke nahe, daß die Elektrizität aus den Ecken und Kanten vorzugsweise ausströme, und daß deshalb auch vorzugsweise an diesen das Metall sich absetze; allein mir scheint dies zweifelhaft, besonders weil man den stärkeren Absatz an den Ecken und Kanten, wenn auch nicht ganz beseitigen, doch viel geringer machen kann, indem man die Elektroden nur in Gefäßen anwendet, deren Querschnitt gleich der Fläche dieser Elektroden ist.

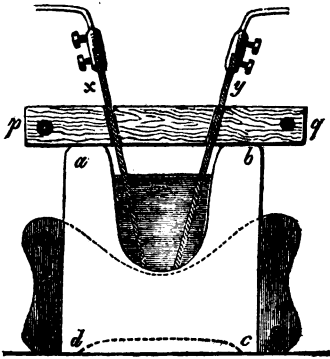
Diese Vorsicht ist auch bei allen folgenden Versuchen angewendet worden. Bei der Bestimmung des Gränzwertes für Elektroden von verschiedener Größe war es notwendig, den Kasten, der den Elektrolyten enthielt, so zu ändern, daß sein Querschnitt den Elektroden gleich war.

Zwei Mittel standen hierfür zu Gebote. Die Breite des Kastens unverändert zu lassen, und ihn zu erhöhen (oder die Höhe der Flüssigkeit in ihm zu ändern, damit eine größere Fläche der Elektroden sich in derselben befand; oder die Höhe unverändert zu lassen, und die Breite zu ändern. Auf beide Arten habe ich die Versuche ausgeführt. Die bei welchen Elektroden von verschiedener Breite angewendet wurden, haben indess bessere Resultate geliefert,

§. 47.

Für diese benutzte ich einen Kasten der aus einer Anzahl viereckiger Platten von starkem Spiegelglas zusammengesetzt wurde.

Fig. 1.



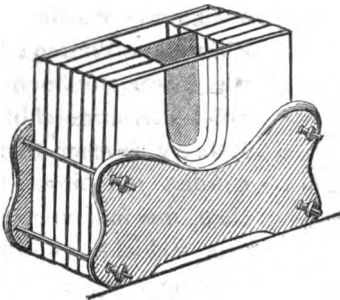
Aus jeder dieser Platten *abcd* Fig. 1 war ein längliches Stück herausgeschliffen. Mehrere solcher Platten wurden mit ihren Flächen, die mit einer dünnen Schicht von Fett überzogen waren, aneinander gestellt und an jedes Ende eine Spiegelplatte angefügt, aus der nichts herausgeschliffen

war. Man konnte auf solche Weise einen Kasten von jeder beliebigen Breite zusammensetzen, der ganz dicht hielt, besonders wenn er durch ein Paar Schrauben verbunden wurde. Die Elektroden *xy* waren senkrecht gegen die Glasplatten befestigt, und die Breite des Kastens wurde stets so gewählt, daß die Elektroden genau zwischen den Endplatten paßten. Die Zuleitung zu denselben fand von oben über den Rand des Kastens statt. Unten standen sie auf dem ausgeschnittenen Theil der Glasplatten auf. Sie befanden sich immer in derselben Entfernung von einander, da sie in den Einschnitten zweier Leisten aus Holz *pq* befestigt waren. Ihre Rückseiten und Seitenkanten waren mit einem starken Firnis überzogen. Die Flüssig-

keit nahm bei allen Versuchen genau dieselbe Höhe in dem Kasten ein, so daß die Gröfse des wirkamen Theils der Elektroden sich verhielt wie ihre Breite ¹⁾. Als Elektrolyt wurde wieder eine Auflösung von schwefelsaurem Kupferoxyd benutzt, die aber ziemlich verdünnt seyn mußte, damit der Einfluß der Schicht, welche die Elektroden berührte, nicht zu nachtheilig wirkte.

Benutzt man den Kasten zu andern Zersetzungen, bei welchen man die Elektroden parallel mit seinen Endplatten stellen kann, so gewährt er noch den Vortheil, daß man

Fig. 2.



leicht ein oder mehrere Scheidewände aus Xyloidin-Papier, oder aus thierischer Blase, oder aus porösem Thon einschalten und seine Länge beliebig verändern kann; auch läßt er sich sehr gut reinigen. Figur 2 stellt den Kasten mit der

Scheidewand, jedoch ohne Elektroden dar.

§. 48,

Im Uebrigen wurde für die Beobachtungen ganz so verfahren, wie es oben §. 42 angegeben; nur war hier, wo die Gröfse der Elektroden verschieden war, der vorhandene Rheochord nicht ausreichend um die Intensität des Stromes genügend ändern zu können. Es wurde deshalb auch die elektromotorische Kraft durch Anwendung von mehr oder weniger Elementen geändert.

In der folgenden Tabelle sind einige von den gefundenen Resultaten zusammengestellt.

Columnne I giebt die Breite der Elektroden an, und da diese alle bis zu gleicher Tiefe in die Flüssigkeit eintauchten, so sind die Querschnitte des Elektrolyten diesen Breiten proportional.

- 1) Die Elektroden waren nicht parallel sondern oben etwas weiter von einander entfernt als unten, damit die Elektrizität, welche von oben zu ihnen gelangte, ihren Weg nicht vorzugsweise durch die oberen Schichten der Flüssigkeit nahm.

Columnne II die Zahl der angewandten Grove'schen Elemente.

Columnne III den gefundenen Gränzwert in Theilen der Scale, nämlich in Millimetern.

Columnne IV enthält zur besseren Uebersicht die Differenz zwischen je zwei auf einander folgenden Beobachtungen.

Die Elektroden blieben stets in demselben Abstände, und tauchten alle gleich tief in die Auflösung von schwefelsaurem Kupferoxyd.

	Breite der Elektroden,	Elektromotor. Kraft von	Gränzwert in Scalentheilen.	Diffe- ren- zen.
1. Reihe.	10 ^{mm}	2 Element.	60	
	20	2 „	120	60
	30	2 „	180	60
	40	3 „	225	45
	50	3 „	300	75
	40	3 „	227	73
	30	2 „	170	57
	20	2 „	115	55
	10	2 „	59	56
				Mittel:
2. Reihe.	10	2 „	57	57,5
			58	
			114	113,5
	20	2 „	113	
	30	2 „	172	172,0
	40	3 „	220	216,5
			213	
			289	289,5
	50	3 „	290	
3. Reihe	10	2 „	59	52
	20	2 „	111	52
	30	2 „	163	58
	40	3 „	221	

§. 49.

Wie wohl die gefundenen Werthe keine große Uebereinstimmung gewähren, so genügen sie doch, wie ich glaube, um darzuthun, daß die Intensität, bei welcher neben Kup-

fer auch die Ausscheidung von Wasserstoff beginnt, proportional wächst mit der GröÙe der Elektroden, oder daß sie immer bei derselben Stromdichte beginnt, d. i. wenn die Stromintensität dividirt durch die GröÙe der Elektroden einen bestimmten Werth erreicht hat.

Bereits im Jahre 1837 hat Hr. Poggendorff ¹⁾ auf den Einfluß der GröÙe der Elektroden aufmerksam gemacht, und Hr. Bunsen ²⁾ hat bei Gelegenheit der Darstellung von metallischem Chrom auf galvanischem Wege es ausgesprochen, daß die Zersetzung von der Dichte des Stromes abhängig ist.

§. 50.

Die beobachtete Gränze gilt immer nur für ein bestimmtes Verhältniß von Salz und Wasser. Nimmt die Menge des ersteren in der Flüssigkeit ab, so wird auch der Gränzwertb geringer.

Könnte man sich eine Flüssigkeit verschaffen, in welcher bei verschiedener Verdünnung die Salztheile in der Richtung von einer Elektrode zur andern in unveränderten Abständen blieben und ihre Entfernungen nur in der den Elektroden parallelen Richtung änderten, so könnte man untersuchen, ob auch in Salzlösungen von verschiedener Concentration ein Salzatom stets dieselbe Stromdichte zu seiner Zersetzung bedarf; denn alsdann müßte in solcher Flüssigkeit der Gränzwertb proportional der Anzahl von Salztheilen sich ändern, welche in einer, den Elektroden parallelen Ebene enthalten sind. Da man sich eine solche Flüssigkeit nicht verschaffen kann, so ist es nicht möglich zu untersuchen, in wie weit jene Proportionalität vorhanden ist. Denn wenn, wie es bei jeder Verdünnung der Fall ist, die Abstände der Salztheile sich auch in der Richtung der Entladung, d. i. von einer Elektrode zur andern ändern, so wird hierdurch der Gränzwertb ebenfalls geändert und das Resultat ein zusammengesetztes. Wären die Gesetze, nach welchen diese letztere Aenderung statt-

1) Pogg. Annal. Bd. XLI, S. 166.

2) Pogg. Annal. Bd. XCI, S. 619.

findet, bekannt, so könnte man sie in Rechnung bringen. Da diese Gesetze aber bis jetzt noch nicht ermittelt sind, so können auch die Bestimmungen der Gränzwerthe für Salzlösungen von verschiedener Concentration zu keinem andern Resultate führen, als zu zeigen, was schon sonst bekannt ist, daß der Gränzwertb geringer wird, wenn die Menge des Salzes in der Lösung abnimmt.

§. 51.

Ist daher das Verhältniß der Bestandtheile eines Elektrolyten veränderlich, so ist die Ausscheidung nicht abhängig von dem, was man gewöhnlich die *Stromdichte* nennt, d. i. von der Intensität dividirt durch die Größe der Elektroden, sondern von dem, was man *specifische Stromdichte* nennen könnte, d. i. von einer Stromdichte, welche sich auf das Verhältniß bezieht, in welchem die Substanzen, um die es sich handelt, in der Flüssigkeit vorhanden sind.

§. 52.

Fasst man diese Versuche zusammen, so ergibt sich, daß eine bestimmte Menge eines Salzes, wenn sie mit einer bestimmten Menge von Wasser gemischt ist, auch nur eine bestimmte Menge von Elektrizität von der Elektrode aufnehmen kann. Ist diese, oder auch nur eine geringere Menge wirksam, so werden nur die Theile des Salzes zersetzt. Ist hingegen eine größere Menge vorhanden, so wird neben dem Salz auch das Lösungsmittel zerlegt. Je geringer die Menge des Salzes im Verhältniß zum Wasser ist, um so geringer ist die Stromdichte bei welcher die Zersetzung des Wassers neben der des Salzes beginnt.

§. 53.

Diese Wirkung des Stromes ist wesentlich verschieden von den übrigen, denn sie nimmt nicht nur mit seiner Stärke oder Intensität zu, wie etwa die durch ihn erzeugte Wärme zunimmt, sondern sie wird auch plötzlich eine ganz andere, indem bis zu einer gewissen Gränze der Elektrizität nur die eine, und dann plötzlich neben dieser auch die zweite Substanz zersetzt wird.

Zwar glaube ich, daß es möglich ist, dieses Verhalten des Stromes auf bekannte Erscheinungen zurückzuführen, allein es wird mir schwer, die Vorstellung, welche ich mir von der elektrischen Zersetzung entworfen habe, hier mitzutheilen. Theils sind in neuerer Zeit so viele Theorien von dem Vorgange der Elektrolyse veröffentlicht worden, daß ich dieselben nicht gern durch eine neue vermehre, theils ist die Vertheilung der Elektricität auf einer Reihe isolirter Leiter, auf welche, wie ich glaube, die elektrolytischen Erscheinungen sich zurückführen lassen, noch nicht so vollständig bekannt, um diese Zurückführung in allen Theilen durchführen zu können. Ich würde deshalb meine Ansicht ganz unterdrücken, wenn ich nicht glaubte, daß dieselbe besonders geeignet sey, die Versuche in einen übersichtlichen Zusammenhang zu bringen. Nur als ein Mittel hierfür betrachte ich die folgende Auseinandersetzung.

§. 54.

Es scheint mir zunächst unmöglich anzunehmen, daß die Elektricität sich in dem Leiter bewege wie eine Flüssigkeit in einer Röhre, so daß sie zu einer bestimmten Zeit an einer Stelle desselben und bald darauf an einer andern entfernteren angekommen ist. Ich kann mir nur vorstellen, daß die Elektricität sich von Schicht zu Schicht in ähnlicher Weise in dem Leiter fortpflanzt, wie die Wirkung eines leuchtenden Körpers fortgepflanzt wird. Ob man dabei annehmen dürfe, daß die elektrische Fortpflanzung, wie die des Lichts, auf Schwingungen eines Aethers beruhe, oder in welcher andere Weise sie vor sich gebe, muß, wie ich glaube, für jetzt dahingestellt bleiben. Aber auch ohne die Art der Fortpflanzung genauer zu kennen, ist man genöthigt anzunehmen, daß sie von Schicht zu Schicht erfolge. Fehlen auch die Beweise hierfür in Bezug auf die Fortpflanzung in einem metallischen Leiter, so läßt sich wenigstens mit vieler Wahrscheinlichkeit zeigen, daß in einer zersetzbaren Flüssigkeit die Fortpflanzung in jener Weise stattfindet, und zwar ähnlich wie die Fort-

pflanzung der Reibungselektricität oder der Elektricität von grofser Spannung durch eine Anzahl isolirter Leiter.

§. 55.

Um etwas bestimmter anzudeuten, was ich meine, stelle man sich zwei gleiche Metallplatten *A* und *B* vor, die in einiger Entfernung parallel einander gegenüber stehen, und zwischen denselben eine Anzahl isolirter Kugeln, deren Durchmesser nur klein im Verhältnifs zur Gröfse der Platten *A* und *B* ist. Liegen diese Kugeln in gleichen Abständen von einander, alle in einer geraden Linie, welche zwei homologe Punkte der beiden Platten verbindet, und erhalten diese Platten fortwährend gleiche Mengen von Elektricität, die Platte *A* von positiver und die Platte *B* von negativer, so nehmen sämtliche Kugeln beide Elektricitäten durch Vertheilung an, und zwar die positive Elektricität nach der der Platte *B* zugewandten Seite, und die negative nach der entgegengesetzten.

§. 56.

Sobald die Elektricitäten dieser Kugeln so stark geworden sind dafs ein Funke übergeht, so geht ein solcher zwischen je zwei Kugeln, so wie zwischen den Platten und den ihnen zunächst befindlichen Kugeln über. Man sagt dann die Elektricität hat sich entladen, oder sie hat sich von der einen Platte zur andern fortgepflanzt. Wird den Platten fortwährend Elektricität zugeführt, so finden die Entladungen immer von Neuem statt. Je besser das Leitungsvermögen der Kugeln ist, um so leichter laden sie sich und um so schneller entladen sie sich wieder; um so mehr Elektricität wird daher in der Zeiteinheit durch die Kugelreihe fortgepflanzt.

Wenn man diese Art der Fortpflanzung oder Ausgleichung der beiden Elektricitäten als einen Strom bezeichnen darf, so ist hiernach die Intensität dieses Stromes, d. i. die Quantität der Elektricität die in der Zeiteinheit übergeht, um so gröfser, je besser das Leitungsvermögen der Kugeln ist.

§. 57.

Aehnlich wie die Entladung durch solche isolirte Leiter stelle ich mir den Uebergang der Elektricität durch einen Elektrolyten vor. Denn man kann sich diesen ebenfalls als aus einzelnen Theilen bestehend denken, auf welche die Elektricität der Elektroden in ähnlicher Weise einwirkt, wie die elektrischen Platten *A* und *B* auf die zwischen ihnen befindlichen Kugeln. Der wesentliche Unterschied ist nur der, daß bei der Entladung der Elektricität durch die Kugelreihe die $+E$ der einen Kugel sich mit der $-E$ der nächsten verbindet, während in dem Elektrolyten mit diesen Elektricitäten sich auch zugleich ein elektro-positiver Bestandtheil des einen Theilchens mit einem elektro-negativen Bestandtheil des nächsten Theilchens vereinigt.

§. 58.

Es ist bekannt daß die Quantität der Elektricität, welche in einer solchen Reihe von Kugeln, wie die §. 55 beschriebenen, durch Vertheilung erregt wird, nicht auf allen Kugeln gleich ist. Aber wie verschieden auch die Vertheilung auf denselben seyn möge, so ist doch die Menge welche bei der Ausgleichung von Kugel zu Kugel übergeht, für alle dieselbe.

§. 59.

Denkt man sich parallel mit jener Reihe von Kugeln eine zweite oder eine größere Anzahl solcher Reihen, alle aus ganz gleichen und gleich weit von einander abstehenden Kugeln, und sieht man ab von den Störungen, welche die Kugeln einer Reihe in Bezug auf die Vertheilung der Elektricität in den andern Reihen hervorbringen, so findet in jeder Reihe der Uebergang der Elektricität in gleicher Weise statt, und daher geht durch jede Ebene die parallel den Platten *A* und *B* ist, in derselben Zeit dieselbe Menge von Elektricität, analog dem Durchgange durch einen Elektrolyten.

§. 60.

Sind bei der Entladung der Elektricität durch mehrere Reihen isolirter Kugeln, nicht alle aus derselben Substanz, sind einige besser leitend als die andern, so geht die Elektricität vorzugsweise durch diese besser leitenden Kugeln über. Bei einer gewissen Dichte der Elektricität auf den Platten *A* und *B* geschieht der Uebergang nur durch die besser leitenden Kugeln. Auf den übrigen findet dann zwar eine Vertheilung aber keine Entladung statt. Steigert man aber die Elektricität auf den Platten *A* und *B*, so dafs in derselben Zeit, in welcher die besser leitenden Kugeln sich laden, auch die weniger gut leitenden durch Vertheilung hinreichend geladen werden, so geht die Elektricität durch beide über.

Es ist indess nicht nothwendig, dafs einzelne Reihen nur besser leitende Kugeln enthalten. Selbst wenn diese gleichmäfsig zwischen den schlechter leitenden vertheilt sind, findet die Entladung vorzugsweise durch die ersteren statt, und die Elektricität geht von den Platten zunächst in die besser leitenden Kugeln über.

§. 61.

Ganz ähnlich verhält es sich mit dem Uebergange der Elektricität von den Elektroden in eine Flüssigkeit, die zwei oder mehrere Substanzen enthält. Das verschiedene Leitungsvermögen der isolirten Kugeln entspricht nämlich der verschiedenen Zersetzbarkeit der in dem Elektrolyten enthaltenen Substanzen. Besteht derselbe z. B. in einer Salzlösung, so werden von den die Elektroden unmittelbar berührenden Theilen zunächst nur die leichter zersetzbaren Salztheile zerlegt; oder enthält er verschiedene Salze z. B. schwefelsaures Kupfer und Silber, so wird zunächst nur das besser leitende oder leichter zersetzbare Silbersalz zersetzt. Steigert man aber die Elektricität über eine gewisse Gränze, so beginnt auch die Zerlegung des weniger leicht zersetzbaren Bestandtheils.

Diese Gränze ist, wie oben §. 31 erwähnt worden, abhängig von der Intensität des Stromes, von der Gröfse der

Elektroden, so wie von dem Verhältniß, in welchem die verschiedenen zersetzbaren Substanzen in dem Elektrolyten vorhanden sind.

§. 62.

Fragt man sich wie es zugeht, daß bei einer gewissen Stromintensität nur die eine, und bei einer größeren noch eine zweite Substanz zersetzt wird, so ist zu berücksichtigen, daß wenn der Strom, wie oben §. 19 bemerkt worden, in einer Reihe von Entladungen besteht, die Intensität, d. i. die Menge von Elektrizität welche in der Zeiteinheit durch den Leiter geht, sowohl dadurch größer werden kann daß die Entladungen schneller auf einander folgen, als auch dadurch daß bei jeder einzelnen Entladung eine größere Menge übergeht.

§. 63.

Ist das letztere der Fall, geht bei jeder einzelnen Entladung eine größere Menge von Elektrizität über, so laden sich von den die Elektroden berührenden Theilen, die weniger gut leitenden gleichzeitig mit den besser leitenden und entladen sich auch gleichzeitig mit diesen. Es werden daher beide, die besser und die weniger gut leitenden Theile, gleichzeitig zersetzt. Wird die Quantität der Elektrizität, welche bei jeder einzelnen Entladung übergeht, nicht größer, folgen aber die Entladungen rascher auf einander, so geht ebenfalls die Elektrizität sowohl durch die besser als durch die weniger gut leitenden Theile über. Die Elektrode ist nämlich mit beiden Arten von Theilen in Berührung, ist aber eine gewisse Anzahl der besser leitenden zersetzt, so reichen die übrigen nicht hin um die Elektrizität überzuführen, und dann findet die Entladung auch durch die schwerer zersetzbaren statt. Folgen daher die einzelnen Entladungen so schnell auf einander, daß die leichter zersetzbaren Theile sich von einer Entladung zur andern nicht vollständig wieder an der Elektrode erneuern, so geht die Elektrizität auch durch die schwerer zersetzbaren über, d. h. diese werden auch zersetzt. Es wird aber später §. 82 der Grund angeführt werden, weshalb

zur Erneuerung der leichter zersetzbaren Theile an der Fläche der Elektrode eine gewisse Zeit erforderlich ist, so daß es folglich vorkommen kann und vorkommen muß, daß die einzelnen Entladungen schneller auf einander folgen als diese Erneuerung stattfindet. Ob übrigens, wie Viele annehmen, die Stärke der einzelnen Entladungen sich nur mit der elektromotorischen Kraft ändert, dagegen die Zeit der Entladungen nur mit dem Widerstande, ist bis jetzt wohl nicht zu entscheiden; mir erscheint diese Annahme sehr zweifelhaft, doch enthalte ich mich hier näher darauf einzugehen.

§. 64.

Verändert man bei Anwendung derselben Stromintensität die Gröfse der Elektroden, so muß, wenn die Säule oder die elektromotorische Kraft ungeändert bleiben soll, ein anderer Theil des Schließungsbogens so abgeändert werden, daß die Summe der Widerstände constant bleibt. Wenn aber die elektromotorische Kraft und der Widerstand constant sind, so sind auch die Entladungen unverändert sowohl in Bezug auf ihre Stärke, als auch in Bezug auf ihre Anzahl. Es geht folglich bei jeder Entladung von der kleineren Elektrode dieselbe Menge von Elektrizität über wie von der gröfseren. Da aber die Zahl der leichter zersetzbaren Theile, welche die kleinere Elektrode berühren bei Anwendung desselben Elektrolyten geringer ist, so reichen dieselben nicht hin um die Elektrizität überzuführen, und dann werden auch von den schwerer zersetzbaren zerlegt.

§. 65.

Aehnlich verhält es sich, wenn der Elektrolyt verändert oder verdünnt wird; es reichen dann bei unveränderter Intensität und unveränderter Gröfse der Elektroden die leichter zersetzbaren Salztheile nicht hin, um die Elektrizität überzuführen, und dann werden auch die schwerer zersetzbaren zerlegt.

§. 66.

Wenn die Zersetzung eines Salzes die Folge der vertheilenden Wirkung der Elektricität ist, und die Trennung seiner Bestandtheile wie die Trennung der beiden Elektricitäten auf einem metallischen Leiter stattfindet, so hat es nichts auffallendes, daß sich einer unter den Bestandtheilen des Salzes findet, der sich, wie z. B. das Metall, allein in dem Salzatome auf die der negativen Elektrode zugewandte Seite begiebt, und alle übrigen die Säure und der Sauerstoff sich auf die entgegengesetzte Seite begeben. Auch braucht man dann nicht anzunehmen, wie Daniell und Miller es gethan haben, daß Sauerstoff und Säure eine eigene chemische Verbindung bilden.

§. 67.

Uebrigens zersetzen sich nicht alle Salze in derselben Weise. Das schwefelsaure Eisenoxyd z. B. zerfällt bei Anwendung der richtigen Stromdichte in das Oxydulsalz und in Sauerstoff mit dem, wenn das Salz neutral war, noch ein Atom Schwefelsäure frei wird. Wendet man bei der Zersetzung eine poröse Scheidewand an, so findet man nach einiger Zeit in der negativen Zelle kein Oxyd mehr. Zersetzt man statt des Oxydsalzes das Oxydulsalz, so zerfällt dies in Eisen einerseits und in Sauerstoff und Säure andererseits, doch wird wenigstens im Anfang der Zersetzung kein Sauerstoff frei, sondern dieser oxydirt einen Theil des Oxydulsalzes an der positiven Elektrode wieder zu Oxydsalz, das sich schon durch seine Farbe zu erkennen giebt.

Bei der Zersetzung des schwefelsauren Eisenoxyds bildet daher das Oxydulsalz den positiven ¹⁾ Bestandtheil.

§. 68.

Wenn aber eine so zusammengesetzte Verbindung wie

- 1) Die Ausdrücke *Anion* und *Kation* habe ich vermieden, weil in ihnen die Andeutung enthalten ist, daß die Bestandtheile zu den Elektroden wandern. Eine Wanderung findet zwar statt, aber nicht durch den Strom, sondern nur in Folge der chemischen Vereinigung der durch den Strom getrennten Bestandtheile; deshalb glaubte ich hier, wo es darauf ankommt jeden Ausdruck zu vermeiden der Mißverständnisse veranlassen könnte, mich jener Bezeichnungen enthalten zu müssen.

das schwefelsaure Eisenoxydul die Stelle des Metalls vertreten kann, so drängt sich die Frage auf, weshalb nicht in anderen Fällen das Metalloxyd ausgeschieden wird oder die Zerlegung der Salze in Säure und Basis stattfindet. Ich glaube, daß hierfür noch ein besonderer Grund vorhanden ist.

§. 69.

In der Auflösung eines Salzes sind die Theile desselben nicht in unmittelbarer Berührung, und bei einiger Verdünnung durch das Auflösungsmittel, gewöhnlich das Wasser, so weit von einander entfernt, daß die Entladung der Elektricität nicht von einem Salztheilchen zum andern, sondern nur vom Salz zum Wasser und vom Wasser zum Salz stattfinden kann. Soll unter solchen Umständen eine Zersetzung des Salzes möglich seyn, so müssen die bei dieser Zersetzung entstehenden Producte sich mit den aus der Zersetzung des Wassers hervorgehenden verbinden können. Da aber das Wasser nur Wasserstoff und Sauerstoff als Zersetzungsproducte liefern kann, so kann sich das Salz nur in solche Bestandtheile zerlegen, von denen der eine sich mit Wasserstoff und der andere mit Sauerstoff verbinden kann. Dies ist der Fall wenn das Salz zerfällt in Sauerstoff, der sich mit dem Wasserstoff des nächsten Wassertheilchens wieder vereinigt, und in Metall, das sich mit dem Sauerstoff des ihm zunächst liegenden Wassertheilchens zu Oxyd verbindet.

In ähnlicher Weise können sich auch die Zersetzungsproducte des schwefelsauren Eisenoxyds, nämlich das Oxydulsalz und der Sauerstoff, eventuel die frei gewordene Schwefelsäure, mit den Bestandtheilen des Wassers verbinden, und in gleicher Weise muß jedes Atom, um zersetzbar zu seyn, Zersetzungsproducte liefern können, die sich mit den Zersetzungsproducten der ihnen zunächst liegenden Atome verbinden können.

§. 70.

Die neu gebildeten Verbindungen müssen außerdem auch in der Flüssigkeit löslich seyn. Die meisten Me-

talloxyde sind in Wasser unlöslich, sie würden sich dabei ausscheiden, wenn sie nicht freie Säure fänden, mit der sie eine auflösliche Verbindung eingehen können. Besteht der Elektrolyt aus einem vollkommen neutralen Salze, so ist wenn die Zersetzung anfängt zwar keine freie Säure vorhanden, allein die Salztheilchen, welche die negative Elektrode berühren, und ihren positiven Bestandtheil an dieselbe abgeben, liefern Sauerstoff und Säure an den Wasserstoff des nächsten Wassertheilchens, und von diesem geht die Säure von Wasser- zu Wassertheilchen bis zum nächsten Salztheilchen.

Da die Salze gewöhnlich in wässrigen Lösungen zur Elektrolyse verwendet werden, so wird in den meisten Fällen nur ein einfaches Ion aus ihnen abgeschieden, während die einfachen Körper sich am leichtesten mit den Zersetzungsproducten des Wassers verbinden; aber es kann auch, wie schon die Zersetzung des schwefelsauren Eisenoxyds beweist, statt der einfachen zusammengesetzte Ionen abgeschieden werden. Als Hr. Faraday vor 23 Jahren zuerst das merkwürdige Gesetz der elektro-chemischen Aequivalenz in der 7. Reihe seiner Untersuchungen §. 8 nachwies, sprach er noch den Satz aus, daß nur einfache Ionen zu den Elektroden gelangen könnten. Jetzt weiß man, daß nicht nur zusammengesetzte Ionen, sondern auch doppelte und mehrfache elektro-chemische Aequivalente dahin gelangen können.

§. 71.

Schon Hr. Matteucci ¹⁾ und später Hr. Ed. Becquerel ²⁾ haben gezeigt, daß wenn Chlorüre durch einen Strom zersetzt werden, die auf ein Aequivalent Chlor mehr als ein Aequivalent Metall enthalten, daß alsdann auf mehr als ein Aequivalent des letzteren für ein Atom Metall ausgeschieden werde.

Es schien mir von Interesse diese Versuche zu wiederholen. Dieselben wurden auf die Weise ausgeführt, daß

1) *Bibl. univer. T. XXI.*

2) *Ann. de Chim. et de Phys. Sér. III, T. XI, p. 162.*

die Auflösungen von Zinnchlorür und Kupferchlorür, letzteres versetzt mit etwas Ammoniak, während der Zersetzung unter der Glocke der Luftpumpe oder in einer vollständig gefüllten, wohl verschlossenen Flasche angewandt wurden, in welche die Elektroden isolirt eingeführt waren. Diese bestanden gewöhnlich beide, mindestens aber die positive aus dem Metall, dessen Chlorür zersetzt werden sollte. In ähnlicher Weise hat auch Hr. E. Becquerel diese Chlorüre zerlegt, nur wandte er für die Zersetzung unter der Luftpumpe zwei getrennte kleine Gefäße an, die durch einen kleinen Heber verbunden waren, wogegen ich mich hierfür des oben §. 47 beschriebenen Kastens Fig. 2 mit einer Scheidewand aus Blase bediente.

§. 72.

Ging der Strom durch ein Voltameter und sodann durch die Lösung von Kupferchlorür, so wurden für ein Aequivalent Sauerstoff im Voltameter zwei Aequivalente Kupfer ausgeschieden. Ging der Strom statt durch Kupfer durch Zinnchlorür, so wurde für ein Aequivalent Sauerstoff im Voltameter auch ein Aequivalent Zinn ausgeschieden. Wurde aber statt des Zinnchlorürs eine Lösung von Zinnchlorid angewandt, so wurde für ein Aequivalent Sauerstoff ein halbes Aequivalent Zinn ausgeschieden.

Liefs man den Strom statt durch das Voltameter durch eine Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd und sodann durch Kupferchlorür gehen, so wurde wie sich aus dem eben erwähnten vorher sehen liefs, in der Chlorürlösung doppelt so viel Kupfer ausgeschieden, als in der Oxydlösung.

§. 73.

Bei anderen Verbindungen ist das Verhältnifs, in dem die Bestandtheile abgeschieden werden, noch auffallender.

Die reine krystallisirte Jodsäure, in Wasser gelöst, wird durch den Strom zerlegt in Jod, das sich an der negativen Elektrode abscheidet, und in Sauerstoff, der an der positiven frei wird. Man kann die Stromintensität so wählen, dafs kein Wasser, sondern nur die Jodsäure zer-

setzt wird. Alsdann müssen für ein Aequivalent Jod J, fünf Aequivalente Sauerstoff frei werden. Um zu prüfen ob dieß wirklich der Fall sey, wurde eine Auflösung der Säure mittelst Platinelektroden zersetzt, welche durch eine Blase getrennt waren. Das Sauerstoffgas das sich entwickelte, wurde aufgefangen und mit dem eines gleichzeitig in den Strom eingeschalteten Voltameters verglichen. Durch geeignete Stromintensität konnte man es dahin bringen, daß das Jod sich fest auf der negativen Elektrode absetzte; die Flüssigkeit, die diese umgiebt, färbte sich dann nur ganz schwach bräunlich durch eine kaum wägbare Menge Jod. Nahm man nach Beendigung des Versuchs die Elektrode aus der Flüssigkeit, so hob man mit ihr die ganze Menge von Jod heraus. Um dieses quantitativ zu bestimmen wurde die Elektrode in reines Wasser gebracht, in dem man sie hin und her bewegen konnte, ohne daß sich Jod lostrennte. Nachdem auf diese Weise die anhaftende Jodsäure abgespült war, wurde sie in Wasser gebracht, das ein wenig schwefliche Säure enthielt. Nachdem sich das Jod hierin gelöst hatte, wurde es mittelst salpetersauren Palladiums bestimmt. Bei dieser Bestimmung war es nothwendig einen Ueberschuß von schweflicher Säure so weit als möglich zu vermeiden, weil sonst etwas Palladium reducirt und die Bestimmung des Jods ungenau wurde.

Durch mehrere Versuche der Art bestätigte sich, daß für ein Aequivalent Jod J, das sich an der negativen Elektrode abscheidet, fünf Aequivalente Sauerstoff an der positiven Elektrode frei werden. Die Sauerstoffmengen im Voltameter waren gleich den aus der Jodsäure entwickelten.

Die Ueberjodsäure zerlegt sich in Sauerstoff und in Jodsäure, denn anfangs tritt nur Sauerstoff auf.

§. 74.

Aus den in §. 72 und 73 erwähnten Zersetzungen geht hervor, daß die Ausscheidung gleicher oder aequivalenter Mengen immer nur in Bezug auf *einen* Bestandtheil stattfindet. Hr. Ed. Becquerel ist der Ansicht, daß dieß

stets der negative sey, wie es bei den erwähnten Chlorüren, Chloriden und Säuren auch wirklich der Fall ist, mir scheint dieß indess nicht nothwendig, vielmehr glaube ich, daß in anderen Fällen die elektro-positiven Bestandtheile in einem einfachen aequivalenten Verhältnisse stehen können.

§. 75.

Wenn man ein Metalloxyd, z. B. Kupferoxyd in Wasser lösen könnte und man würde dieses mittelst eines Stromes zersetzen, der innerhalb des Gränzwertes für das Oxyd ist, der also nur dieses, nicht aber das Wasser zersetzte, und man würde in denselben Strom noch ein Salz von Kupferoxyd, z. B. schwefelsaures Kupferoxyd einschalten, so würden aus beiden sich gleiche Mengen von Kupfer ausscheiden. Es ist folglich dieselbe Stromintensität erforderlich, um das Kupfer von dem Sauerstoff zu trennen, deren es bedarf, um dasselbe aus dem schwefelsauren Salze abzuscheiden, und es geht hieraus hervor, daß die Kraft, welche erforderlich ist um die Verwandtschaft dieses Metalls zum Sauerstoff im Oxyd aufzuheben, dadurch nicht geändert wird, daß das Oxyd noch mit einer Säure verbunden ist. Allgemein kann man daher den Satz aussprechen, daß es stets derselben Kraft bedarf, um die Einheit des Gewichtes einer einfachen Substanz abzuscheiden, sey es daß diese in einer binären oder in einer zusammengesetzteren Verbindung, einem Salze, enthalten ist.

§. 76.

Für einen Chemiker, der sich die Zersetzung eines Salzes nicht anders als zunächst in Säure und Basis vorstellen kann, mag dieß schwierig erscheinen, weil nach dieser Ansicht dieselbe Kraft, welche erforderlich ist um das Oxyd zu zersetzen, auch ausreichend seyn müßte um dieses erst von der Säure zu trennen, und es dann noch selbst zu zerlegen. Wenn man aber die galvanische Zersetzung als eine vertheilende Wirkung der Elektricität ansieht, so fällt diese Schwierigkeit fort.

Auch hat es dann nichts auffallendes, daß dieselbe elektrische Wirkung hinreicht um das Kupferchlorür zu zer-

setzen, die für das Chlorid erforderlich ist, und daß durch diese aus beiden gleiche Mengen Chlor, aber aus dem ersten doppelt so viel Metall wie aus dem zweiten ausgeschieden wird.

§. 77.

Man könnte die Frage aufwerfen, ob die Ausscheidung eines Bestandtheils darauf beruhe, daß dieser selbst eine bestimmte Elektricität besitzt, und ob man sich überhaupt vorstellen müsse, daß jeder Körper seine eigenthümliche Elektricität habe.

Mir scheint eine solche Annahme nicht zulässig. Denn zunächst ist es nicht möglich an irgend einem Körper in seinem natürlichen Zustande Elektricität zu beobachten, und daher wäre es jedenfalls gewagt, diese dennoch als vorhanden anzunehmen; ferner aber widerspricht die Ausscheidung von ungleichen Mengen eines Metalls aus den Chlorüren und Chloriden durch denselben Strom dieser Ansicht. Auch geht aus den Erscheinungen der Zersetzung nur hervor, daß durch die vertheilende Wirkung der Elektricität gewisse Bestandtheile vorzugsweise von der positiven, andere von der negativen angezogen werden. Dazu ist indess nicht nöthig, daß diese Bestandtheile für sich schon die entgegengesetzten Elektricitäten besitzen, sondern nur daß sie in der Verbindung, in der sie sich befinden, der eine der einen, der andere der andern Elektricität leichter folgt; wobei es dahin gestellt bleibt, ob die einzelnen Bestandtheile diese Fähigkeit nur durch ihre gegenseitige Berührung, oder in irgend welcher anderen Weise erlangen.

§. 78.

Daniell ging davon aus, daß die Elektricität die Substanzen fortführe, und deshalb fand er eine Schwierigkeit darin, daß während ein Aequivalent Metall nach der negativen Elektrode geführt wird, ein Aequivalent Sauerstoff und ein Aequivalent Säure nach der positiven Elektrode gelangen. Hätte derselbe gewußt, daß in der Kupferchlorürlösung zwei Aequivalente Kupfer sich an der negati-

ven Elektrode absetzen, während durch denselben Strom in den Kupferoxydverbindungen nur *ein* Aequivalent fortgeführt wird, so würde sich die Schwierigkeit für ihn vielleicht noch gesteigert haben. Denn schwerlich würde er schon damals zu dem Schlusse gelangt seyn, daß die Elektrizität mit dieser Fortführung gar nichts zu thun habe. Beruht nämlich, wie oben dargethan worden, die Zersetzung auf der vertheilenden Wirkung der Elektrizität, so bringt diese nur die Trennung der Bestandtheile hervor, die Verbindung der getrennten Bestandtheile mit den ungleichnamigen der nächsten Atome erfolgt ohne Beihülfe der Elektrizität, durch die gewöhnliche chemische Verwandtschaft. Daher lehren die erwähnten Zersetzungen der Chlorüre und Chloride, so wie der Jodsäure nichts über die Kraft, welche zur *Fortführung* ihrer Bestandtheile erforderlich ist, sondern nur daß es zur *Zersetzung* gleicher Atome einer gleichen elektrischen Wirkung bedarf, vorausgesetzt, daß unter gleiche Atome solche verstanden werden, die gleiche Mengen von Sauerstoff oder von einem analogen Körper enthalten.

§. 79.

Auf das was in der Chemie gewöhnlich unter einem zusammengesetzten Atom verstanden wird, darf das Gesetz der aequivalenten Zersetzung nicht angewendet werden, denn um ein Atom Jodsäure $J + 5O$ zu zersetzen ist nicht die gleiche, sondern die fünffache elektrische Wirkung von der erforderlich, welche ein Atom Wasser $H + O$ zu seiner Zersetzung bedarf. Ebenso erfordert ein Atom Zinnchlorür $Sn + Cl$ eine halb so starke elektrische Kraft als ein Atom Zinnchlorid $Sn + 2Cl$.

§. 80.

Um ein Atom schwefelsaures Eisenoxyd $\ddot{F} + 3\ddot{S} + Aq$ in schwefelsaures Eisenoxydul $2(\ddot{F} + \ddot{S})$ und in Sauerstoff O nebst Schwefelsäure \ddot{S} zu zerlegen, ist dieselbe elektrische Kraft erforderlich wie um ein Atom Wasser $H + O$ zu zersetzen, und derselben Kraft bedarf es auch um ein Atom

schwefelsaures Eisenoxydul $\text{F} + \text{S}$ in Eisen eine Sauerstoff nebst Säure andererseits zu trennen.

Wie sehr sich die Atome, welche in Bezug galvanische Zersetzung aequivalent sind, von diesen Atomen unterscheiden, mögen die folgenden Beispiele beweisen.

Chemische Atome.	Galvanische Aequivalente.
$\text{H} + \text{O}$	$\text{H} + \text{O}$
$\text{J} + 5\text{O}$	$\frac{1}{5}\text{J} + \text{O}$
$\text{Cu} + \text{S} + 5\text{Aq}$	$\text{Cu} + \text{S} + 5\text{Aq}$
$\text{Cu} + \text{Cl}$	$\text{Cu} + \text{Cl}$
$2\text{Cu} + \text{Cl}$	$2\text{Cu} + \text{Cl}$
$\text{Sn} + 2\text{Cl}$	$\frac{1}{2}\text{Sn} + \text{Cl}$
$\text{Sn} + \text{Cl}$	$\text{Sn} + \text{Cl}$

u. dergl. m.

§. 81.

So regelmässig wie es oben beschrieben, macht Zersetzung nur in seltenen Fällen. Zunächst ist erforderlich, dass die positive Elektrode aus dem Metall besteht welches in dem Elektrolyten enthalten ist, das das ausgeschiedene Metall durch Auflösung der Elektrode wieder ersetzen könne. Sodann muss der Querschnitt der Elektroden gleich dem des Elektrolyten seyn, dem setzt sich das Metall an dem Rande der Elektrode ab als in der Mitte und die Zersetzung wird unregelmäßig. Endlich muss die Stromstärke mit Bezug auf die Grösse der Elektroden weit unter der Intensitätsgränze gehalten werden. Sind diese Bedingungen erfüllt, so wird für jedes Salz das sein Metall an die negative Elektrode abgeben und ein neues an der positiven Elektrode gebildet, und die Salztheile in der Flüssigkeit bleibt ungeändert. bleibt ihre Concentration in allen ihren Theilen unverändert. Die Salztheile rücken zwar durch die stetig wiederholenden Zersetzungen allmählich nach der negativen Elektrode hin, aber ihre Entfernungen von einander

ben ungeändert, so lange als die Intensität beträchtlich unter dem Gränzwerthe liegt. Ist diese dagegen dem Gränzwerthe nahe, so verändert sich die Flüssigkeit, indem sie, wie bereits oben §. 40 erwähnt, zunächst der negativen Elektrode ärmer an Salz wird, und wenn sich im Anfang der Zersetzung auch nur Metall ausgeschieden hat, beginnt dann plötzlich auch die Entwicklung von Wasserstoff.

§. 82.

Diese Veränderung der Concentration in der die negative Elektrode berührenden Schicht, hat offenbar ihren Grund darin, daß die Elektroden vorzugsweise auf die besserleitenden Salztheile zersetzend wirken.

In einer wässrigen Lösung eines Salzes ist nämlich die negative Elektrode sowohl mit Salz- als mit Wassertheilen in Berührung. Bei der Zersetzung wird zunächst eine Anzahl der Salztheile zersetzt, das Metall legt sich an die Elektrode an, und Säure sowie Sauerstoff verbinden sich mit dem Wasserstoff des nächsten Wassertheilchens, das nun die Elektrode berührt. Diefes letztere wird aber bei der folgenden Zersetzung nicht zerlegt, denn sonst würde sich Wasserstoff entwickeln. Vielmehr werden statt dessen andere Salztheile zerlegt, für die wiederum Wasser zur Elektrode gelangt. Daher nimmt die Menge der die negative Elektrode berührenden Salztheile ab. Es gelangen indeß neue Salztheile zur Elektrode, theils dadurch, daß die berührende Schicht, nachdem sie ärmer an Salz geworden, als specifisch leichter in die Höhe steigt, und dadurch eine Bewegung der ganzen Flüssigkeitsmasse herbeiführt, theils, wenn solche Bewegung nicht eintritt, sey es weil der Unterschied des spec. Gewichts nicht ausreicht sie herbeizuführen, oder weil andere Ursachen vorhanden sind die sie hindern, dadurch daß die Salztheile durch Diffusion in die an Salz ärmere Schicht übergehen und die durch Zersetzung ausgeschiedenen ergänzen. Schreitet die Zersetzung nur in solchem Maasse vor, daß eine vollständige Ergänzung durch die Diffusion stattfinden kann, so bleibt die Concentration der Flüssigkeit unverändert, wie sich

dies bei Anwendung einer Strom-Intensität zeigt, die beträchtlich unter dem Gränzwertb liegt. Schreitet die Zersetzung aber rascher vor, so wird kurz nach Beginn der Elektrolyse die Flüssigkeit zunächst der negativen Elektrode ärmer an Salz und bleibt so, bis die Elektrolyse unterbrochen wird.

§. 83.

Wie bedeutend der Einfluß des spec. Gewichts der Lösung auf die Verbreitung durch Diffusion und dadurch auf die Elektrolyse ist, geht am besten, wie ich glaube, aus folgendem Versuch hervor.

In einer Glasröhre von 3 Centimeter Durchmesser und 8 Centimeter Länge, die an beiden Enden durch Korke verschlossen war, befanden sich zwei Elektroden aus Kupfer, deren Flächen so viel als möglich gleich dem Querschnitt der Röhre waren, und die durch Drähte, welche durch die Korke gingen, mit einer Säule aus drei oder vier Bunsen'schen Elementen in Verbindung waren. Füllte man die Röhre mit einer Auflösung von schwefelsaurem Kupferoxyd von solcher Concentration, daß bei der angewandten Entfernung der Elektroden die Stromintensität noch innerhalb des Gränzwertb, aber nicht sehr weit von demselben entfernt war, so zeigte sich, wenn man die Röhre senkrecht stellte, und die obere Elektrode mit dem negativen Pole verband, nach kurzer Zeit, etwa 30 Sekunden, Wasserstoff an dieser Elektrode. Ließ man dann den Strom längere Zeit wirken, so entfärbte sich nicht nur die der Elektrode nächste Flüssigkeitsschicht, sondern die über dieser Elektrode befindliche Lösung wurde ebenfalls farblos, indem die an der Elektrode ihres Kupfers beraubte Flüssigkeit als specifisch leichter in die Höhe stieg.

Soweit das Kupfer das sich an die Elektrode angelegt hatte, von dieser hinabreichte, wurde die Flüssigkeit gewöhnlich auch ganz farblos, und es braucht wohl kaum erwähnt zu werden, daß dann auch die unter dieser entfärbten Schicht befindliche Lösung ärmer an Kupfer wurde,

so dafs ihre Farbe von unten nach oben allmählich abnahm.

Wurde die untere Platte zur negativen Elektrode gemacht, so konnte man den Strom während noch so langer Zeit wirken lassen, ohne dafs Wasserstoff sich entwickelte. Legte man die Röhre horizontal, so dafs die Elektroden vertical waren, so zeigte sich die Gasentwicklung bisweilen nach längerer, bisweilen nach kürzerer Zeit, bisweilen gar nicht, je nachdem die Intensität des Stromes im Beginn der Elektrolyse dem Gränzwertb näher oder ferner war.

Fig. 3.

§. 84.

Wendet man als positive Elektrode statt einer Platte, einen zugespitzten Draht oder einen Kegel aus Kupfer an, und stellt man die Röhre vertical, aber so, dafs sich der positive Draht oder Kegel oben befindet, so sieht man, wenn die Flüssigkeit etwas freie Säure enthält und nicht zu concentrirt ist, die concentrirtere Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd, die sich an der Spitze bildet, in einem feinen Strom herabfließen, in der Art wie es *ab* Fig. 3 andeutet.

§. 85.

Es braucht kaum erwähnt zu werden, dafs sich nicht alle Salzlösungen in Bezug auf ihr Diffusionsvermögen gleich verhalten, und dafs deshalb auch der Einflufs des spec. Gewichts nicht bei allen Salzen gleich bedeutend ist. Das salpetersaure Silberoxyd z. B. diffundirt viel leichter als das schwefelsaure Kupferoxyd. Deshalb kommen bei der Elektrolyse dieses Salzes keine so bedeutende Veränderungen der die Elektroden berührenden Schichten vor. Diefs ist auch wahrscheinlich der Grund, weshalb das Silbersalz dem Kupfersalz für voltametrische Bestimmungen vorgezogen wird. Denn es ist einleuchtend, dafs wenn die Ausscheidung eines Metalls als Maafs für die Stromstärke benutzt werden soll, man so grofse Elektroden anwenden mufs, dafs die Stromdichte, selbst nachdem



ein großer Theil des Metalls ausgeschieden ist, noch weit unter der Intensitäts-Gränze für dieses Metall bleibt. Hierfür bedarf es bei einer Lösung, die so leicht diffundirt, wie das salpetersaure Silber, nicht so großer Elektroden, wie bei dem schwer diffundirenden Kupfersalz, oder bei Anwendung gleich großer Elektroden, erhält sich bei dem Silbersalz die Concentration in der ganzen Flüssigkeit gleichmässiger als bei dem Kupfersalz.

§. 86.

Ist zwischen den Elektroden noch eine poröse Scheidewand eingeschaltet, so wird durch diese die Diffusion verändert. Bringt man in beide durch eine solche Scheidewand gebildeten Zellen dieselbe Auflösung von Kupfervitriol, und benutzt man unter Anwendung von Kupferelektroden einen Strom, der weit unter dem Gränzwert h liegt, so nimmt die negative Elektrode ebenso viel an Gewicht zu, als die positive abnimmt. Steigert man aber die Intensität des Stromes über jene Gränze, so entfärbt sich die Flüssigkeit in der negativen Zelle allmählich bis sie farblos geworden ist. Daraus folgt, daß das Kupfer nicht ebenso schnell durch die poröse Wand gelangen kann, als es an der negativen Elektrode ausgeschieden wird.

§. 87.

Ist die Lösung sauer gewesen, so findet man nach Unterbrechung des Stroms, daß die negative Elektrode viel *weniger* an Gewicht zu-, als die positive abgenommen hat. Es ist also mehr Kupfer an der positiven Elektrode aufgelöst worden, als sich an der negativen ausgeschieden hat. Aus der Entfärbung der Flüssigkeit, welche diese letztere umgab, hätte man das Gegentheil erwarten sollen.

§. 88.

Nur wenn die positive Elektrode sehr klein im Verhältniß zur negativen war, so daß ihre Oberfläche für die Oxydation nicht ausreichte, wurde mehr Kupfer an der negativen Elektrode abgeschieden, als sich an der positiven auflöste, dann entwickelte sich auch Sauerstoff an der positiven Elektrode, sonst aber nicht.

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse einiger Versuche, welche in dieser Beziehung ausgeführt wurden, zusammengestellt. Bei einem derselben, dem achten, tauchte die positive Elektrode nur mit einer Kante in die Flüssigkeit, während sich von der negativen ein halber Quadratzoll darin befand; deshalb hat auch bei diesem Versuch die negative Elektrode mehr an Gewicht zu- als die positive abgenommen. In dem Schließungsbogen war noch ein Voltameter eingeschaltet.

Nummer des Versuchs.	Kupfer erhalten an der negativen Elektrode.	Verlust der positiven Elektrode.	Sauerstoff erhalten im Voltameter, reduziert auf 0° und 0 ^m ,760.	Der Sauerstoff entspricht Kupfer.
I	0,965	1,448	nicht bestimmt	
II	0,380	0,596	99,0 C. Ctm.	0,569
III	0,143	0,257	41,3	0,233
IV	0,141	0,320	60,0	0,339
V	0,235	0,249	38,2	0,216
VI	0,262	0,418	70,0	0,395
VII	0,532	0,626	nicht best.	
VIII*)	0,126	0,046	"	
IX	0,143	0,272	48,0	0,271

*) Die positive Elektrode tauchte nur mit einer Kante in die Flüssigkeit.

§. 89.

Es geht aus diesen Versuchen hervor, daß die Auflösung des Kupfers an der positiven Elektrode ganz entsprechend der Zersetzung im Voltameter ist. An der negativen Elektrode wird dagegen weniger Kupfer ausgeschieden und dafür eine entsprechende Menge von Wasserstoff entwickelt.

Die Entfärbung der negativen Zelle, von der vorher §. 86 die Rede gewesen, ist schon von Daniell und Miller¹⁾ beobachtet worden. Diese sahen darin einen Beweis dafür, daß die poröse Scheidewand, die in ihrem Versuche aus Asbest bestand, kein Hinderniß für die Fortschaffung der Substanzen liefere. Ich begreife indess nicht, wie sie diesen Schluss haben ziehen können, mir scheint gerade

1) *Phil. Transactions for 1844 p. 15. Pogg. Ann. Bd. LXIV, S. 40.*

Poggendorff's Annal. Bd. CII.

das Gegentheil aus dem Versuche sich zu ergeben. Denn bildete die Scheidewand kein Hinderniß, so würde die Farbe der Flüssigkeit nicht scharf mit der Scheidewand abschneiden.

§. 90.

Hr. Pouillet¹⁾ hat aus einer ähnlichen Entfärbung einer Auflösung von Chlorgold einen ganz andern Schluß gezogen. Er meint nämlich, daß der positive Pol der Säule ohne zersetzende Wirkung bleibe, und daß die ganze chemische Wirkung vom negativen Pole ausgehe. Hr. Pogendorff²⁾ hat diesen Schluß bereits einer Kritik unterworfen. Doch würde jetzt, wo man weiß, daß wenigstens unter gewissen Umständen, mehr Metall an der positiven Elektrode aufgelöst wird, als sich an der negativen niederschlägt, auch Hr. Pouillet die Behauptung nicht aufrecht erhalten, daß die chemische Wirkung an der ersteren geringer als an der letzteren sey.

Die chemische Wirkung ist ohne Zweifel an der einen Elektrode eben so groß wie an der anderen, nur scheidet sich an der negativen weniger Metall ab als sich an der positiven auflöst, statt dessen aber eine entsprechende Menge von Wasserstoff. Die Entfärbung der negativen Zelle lehrt nur, daß durch das Hinderniß welches die Scheidewand bietet, das Metall nicht eben so schnell in diese Zelle übergehe als es an der Elektrode abgeschieden wird.

§. 91.

Auch für den Durchgang der Schwefelsäure scheint eine poröse Scheidewand ein Hinderniß zu bilden. Allein dies ist nicht der eigentliche Grund, weshalb sich nicht das volle Aequivalent Säure an der positiven Elektrode findet, §. 16 und §. 23. Dies beruht vielmehr darauf, daß zwischen den einzelnen Salztheilchen sich stets Wasser befindet. Wird daher ein Salztheilchen zersetzt, so verbindet sich die Säure und der Sauerstoff mit dem Wasserstoff des benachbarten Wassertheilchens, und so gelangen Säure und

1) *Compt. rend. T. XX, 1544.*

2) *Pogg. Ann. Bd. LXV, S. 475.*

Sauerstoff von Wassertheilchen zu Wassertheilchen bis zu einem Salztheilchen, dessen Metall sich dann wieder mit ihnen verbindet. Für dieses letztere ist die Säure unentbehrlich, aber für die Zersetzung der Wassertheilchen bedarf es ihrer nicht. Deshalb ist es auch nicht nothwendig, daß sie stets mit dem Sauerstoff von Theilchen zu Theilchen fortschreite, namentlich nicht in dem Falle, wo Säure genug in der Flüssigkeit vorhanden ist, mit der das Metall der zersetzten Salztheile sich verbinden kann. Der Sauerstoff *muß* von Theilchen zu Theilchen bis zur positiven Elektrode wandern, weil er sowohl für die Zersetzung der Salze als auch der Wassertheilchen erforderlich ist. Die Säure aber ist nur für die ersteren nöthig, und deshalb bewegt sie sich nicht regelmäfsig mit fort. Für ein Aequivalent Metall, das an der negativen Elektrode sich abscheidet, wird daher stets ein Aequivalent Sauerstoff und ein volles Aequivalent Säure frei, aber nur das erstere gelangt vollständig zur positiven Elektrode, nicht aber die letztere.

§. 92.

Ist die Flüssigkeit neutral, und bleibt sie es während der Elektrolyse, so können die Salztheilchen nur zersetzt werden, wenn Säure und Sauerstoff von Theilchen zu Theilchen fortrücken. Dann gelangt folglich das volle Aequivalent Säure zur positiven Elektrode. So verhält es sich in den §. 86 erwähnten Versuchen, wo neutrales schwefelsaures Kupferoxyd mittelst Kupferelektroden durch einen Strom zersetzt wurde, der weit unter dem Gränzwertb war. Enthält die elektrolytische Flüssigkeit aber freie Säure, so ist nicht nöthig, daß die mit dem Sauerstoff abgeschiedene Säure mit diesem stets zusammen fortrücke. Dann aber gelangt auch kein volles Aequivalent derselben zur positiven Elektrode. Je mehr freie Säure vorhanden, oder je weniger von der vorhandenen für die Zersetzung der Salztheile erforderlich ist, um so weniger Säure wird zur positiven Elektrode hingeführt. Daher kommt es, daß bei der Zersetzung des schwefelsauren Kupfers durch einen Strom, welcher der Gränze nahe ist, 60 bis 70 Proc. freie

Säure sich in der positiven Zelle fanden (§. 12 und §. 16), daß hingegen bei Zersetzung von verdünnter Schwefelsäure nur 15 bis 22 Proc. Säure in diese Zelle übergegangen waren.

§. 93.

In ähnlicher Weise bewegt sich die Säure immer zur positiven Elektrode, sey es daß man zur Vergleichung der Zusammensetzung die Flüssigkeitsmassen, welche die Elektroden umgeben, durch Anwendung einer porösen Scheidewand getrennt hat, oder, wie Daniell, durch eine Röhre die mit Asbest gefüllt ist, oder durch eine feste Scheidewand, in der einzelne kleine Oeffnungen sind, oder durch Anwendung zweier Gefäße die durch heberförmige Röhren verbunden sind, oder durch irgend eine andere Vorrichtung. Wie auch die Quantitäten der übergeführten Säuren geändert werden mögen, stets wird bei der Zersetzung von Wasser das mit Säure versetzt ist, weniger Säure übergeführt als bei Zersetzung einer Salzlösung, und nur wenn die Lösung während der Zersetzung neutral bleibt, gelangt ein volles Aequivalent Säure zur positiven Elektrode.

§. 94.

Faßt man die Ergebnisse dieser Versuche zusammen, so sind sie folgende:

1. Es bedarf der Daniell'schen Annahme eines Oxy-sulphion, Oxynitron dergl. nicht um die von ihm und Hrn. Miller beobachtete sogenannte doppelte Zersetzung zu erklären. Diese Annahme wird sogar dadurch widerlegt, daß sich an der positiven Elektrode niemals Verbindungen wie $S+4O$ oder $N+6O$ abscheiden. Zwar zeigt sich an dieser Elektrode stets ein dem abgeschiedenen Metall entsprechendes volles Aequivalent Sauerstoff, allein von der Säure findet sich nur ein Theil, oft nur 60 Proc. Der übrige Theil wird bei Anwendung einer porösen Scheidewand in der negativen Zelle gefunden (§. 12 und §. 16).

2. Sind mehrere Salze in derselben Flüssigkeit vorhanden, so zersetzt der Strom bei einer gewissen Intensität nur eins derselben. Ebenso wird, wenn ein Salz gelöst in Wasser zur Elektrolyse angewandt wird, bei einer gewissen Stromstärke nur das Salz aber nicht das Wasser zersetzt.

Es giebt daher für jeden zusammengesetzten Elektrolyten eine Intensitätsgränze, bei welcher nur der eine seiner Bestandtheile zersetzt wird (§. 24 bis §. 30).

3. Bei Anwendung von Strömen, deren Intensität geringer ist als die Gränze, geht die ganze Menge der Elektrizität nur an die Substanz über, auf welche sich dieselbe bezieht. Diese Substanz wird allein zersetzt. Die Gränze selbst entspricht daher dem Maximum von Elektrizität, welches an diese Substanz übergehen kann, oder dem Maximum dieser Substanz das bei unverändertem Elektrolyten und unveränderten Elektroden in einer gegebenen Zeit zersetzt werden kann (§. 35).

4. Diese Gränze ist abhängig von der Gröfse der Elektroden, von der Zersetzbarkeit der verschiedenen Bestandtheile des Elektrolyten, von dem Verhältnifs, in welchem sich diese in ihm vorfinden (§. 31).

5. Da bei Anwendung derselben Intensität die Elektroden einander näher oder ferner seyn können, so ist auch das Maximum der besserleitenden Substanz das durch denselben Strom und dieselben Elektroden zersetzt wird dasselbe, die Elektroden mögen einander näher oder ferner seyn (§. 43).

6. Die Intensitätsgränze ist der Gröfse der Elektroden proportional, vorausgesetzt dafs der Querschnitt des Elektrolyten gleich den Elektroden ist, §. 49.

Diese Proportionalität gilt aber nur, so lange die Zusammensetzung des Elektrolyten ungeändert bleibt (§. 50).

7. Die Leitung der Elektrizität durch einen Elektrolyten, und die dabei stattfindende Zersetzung lassen sich auf die Vertheilung der Elektrizität auf isolirten Leitern zurückführen (§. 54).

8. Dadurch läßt sich die von Daniell erhobene Schwierigkeit der sogenannten doppelten Zersetzung beseitigen.

9. Es bedarf derselben Kraft um eine einfache Substanz, aus einer binären Verbindung auszuschcheiden, die nöthig ist um sie aus einer zusammengesetzteren salzartigen Verbindung zu trennen (§. 75).

10. Ebenso ist dieselbe Kraft erforderlich um dieselbe Menge von Chlor aus den Chlorüren wie aus den Chloriden von Zinn und Kupfer abzuscheiden. Aber man erhält dabei aus den Chlorüren doppelt so viel Metall als man durch denselben Strom aus den Chloriden erhält.

11. Auch ist dieselbe Kraft erforderlich, um aus einer Auflösung von Jodsäure und aus verdünnter Schwefelsäure, die in getrennten Gefäßen zersetzt werden, gleiche Mengen von Sauerstoff zu erhalten. Dabei wird aber für ein Aequivalent Wasserstoff, das aus der letzteren ausgeschieden wird, nur ein Fünftel Aequivalent Jod erhalten.

12. Das Faraday'sche Gesetz ist in seiner vollsten Ausdehnung anwendbar, indem auch aus zusammengesetzteren salzartigen Verbindungen stets äquivalente Mengen ausgeschieden werden. Doch sind die galvanischen Aequivalente nicht dieselben wie die chemischen, §. 80.

13. Die Salztheile verändern in dem Elektrolyten ihre Stelle theils durch die fortwährenden Zersetzungen und Verbindungen, theils durch Diffusion, §. 82. Auf die Diffusion hat das specifische Gewicht der Lösung einen bedeutenden Einfluß (§. 83 bis §. 85), der indess bei verschiedenen Salzlösungen verschieden ist.

II. *Ueber die tantalsauren Salze; von Heinr. Rose.*

Die Lösung des neutralen tantalsauren Natrons kann vortrefflich dazu angewandt werden, um andere neutrale tantalsaure Salze zu erzeugen. Es werden in ihr durch die Lösungen der neutralen Salze der starken Basen Niederschläge erzeugt, welche ebenfalls neutral sind, wenn letztere im Ueberschufs hinzugefügt worden. Es ist charakteristisch für die Tantalsäure und für die ihr ähnlichen metallischen Säuren, daßs bei dieser Bildung der neutralen unlöslichen Salze, das Wasser nicht einen ähnlichen Einfluß ausübt, wie bei der Bildung der unlöslichen Salze der Kohlensäure, der Borsäure und der Kieselsäure. Es ist dießs um so auffallender, da das neutrale tantalsaure Natron bei der gewöhnlichen Temperatur sehr schwerlöslich ist; man könnte daher vermuthen, daßs die große Menge des Wassers bei der Fällung eines unlöslichen tantalsauren Salzes den neutralen Zustand desselben verändern könne.

Es zeigt sich also bei den Verbindungen der Tantalsäure und der ihr ähnlichen metallischen Säuren mit Basen keine bedeutende Verwandtschaft zu den Hydraten dieser Basen, wie dießs bei den Verbindungen der kohlensauren, der borsäuren und der kieselsäuren Basen mit den Hydraten derselben der Fall ist.

Die Tantalsäure und die ihr ähnlichen Säuren des Niobs haben dahingegen Aehnlichkeit mit der Antimonsäure, indem die Lösungen der neutralen antimonsäuren Salze der Alkalien auch unlösliche neutrale Fällungen mit den Lösungen anderer neutraler Salze geben.

Die Lösung des neutralen tantalsauren Natrons erzeugt aber auch mit den Lösungen der neutralen alkalischen Salze Fällungen, die saure Salze sind, indem dem tantalsauren Salze schon bei gewöhnlicher Temperatur in der Lösung Alkali entzogen wird, was bei der reinen Lösung

erst durchs Eindampfen geschieht. Ich habe diese Niederschläge nicht näher untersucht; daß sie aber aus saurem tantalsaurem Salze bestehen müssen, und nicht gefälltes neutrales tantalsaures Natron sind, geht daraus hervor, daß sie in vielem Wasser nicht löslich sind. Es entstehen diese Niederschläge in der Lösung des tantalsauren Natrons durch Lösungen von neutralem schwefelsaurem Kali, von schwefelsaurem Natron, von salpetersaurem Kali und von salpetersaurem Natron, von Chlorkalium und von Chlornatrium. Auch die neutralen Ammoniaksalze geben Fällungen; sie bestehen aber aus saurem tantalsaurem Ammoniumoxyd, wie wir weiter unten sehen werden, und auch diese Erzeugung eines sehr sauren tantalsauren Ammoniaks ist ein Beweis, daß durch die Neutralsalze der feuerbeständigen Alkalien ein saures tantalsaures Alkali gefällt werden muß. — Wenn man die Lösungen der Salze mit einander vermischt, so entsteht anfangs, besonders wenn dieselben nicht concentrirt sind, keine Fällung, sondern nur höchstens eine geringe Opalisierung, aber mit der Zeit wird daraus ein sehr starker Niederschlag, und je länger man das Ganze stehen läßt, desto geringere Spuren von Tantsäure findet man in der abfiltrirten Flüssigkeit; oft wird auch endlich die Tantsäure gänzlich gefällt, namentlich durch eine Lösung von salpetersaurem Natron.

Diese Eigenschaft des tantalsauren Natrons theilt dasselbe mit den neutralen Lösungen alkalischer Salze von anderen metallischen Säuren. Die Lösung des antimon-sauren Kalis, wenn zu ihr nicht freies Kalihydrat hinzugefügt worden, giebt ebenfalls mit löslichen neutralen Kalisalzen, wie mit schwefelsaurem, salpetersaurem Kali und mit Chlorkalium, flockige Fällungen, die aus saurem antimon-saurem Kali bestehen.

Das neutrale tantalsäure Natron erzeugt mit anderen neutralen Salzen aber nur dann neutrale Fällungen, wenn letztere im Ueberschuß hinzugefügt werden. Wendet man hingegen das tantalsäure Natron im Ueberschuß an, so ist der Niederschlag ein etwas saures Salz, weil in diesem

Fall das entstehende neutrale Natronsalz auf den Ueberschuß des neutralen tantalsauren Natrons wirkt, und daraus ein saures Salz abscheidet.

Tantalsaures Ammoniumoxyd.

Die Tantsäure bildet mit dem Ammoniumoxyd keine neutrale Verbindung, sondern nur saure Salze, und auch diese können nicht unmittelbar durch Behandlung der Tantsäure mit Ammoniakflüssigkeit hervorgebracht werden. Ich habe auch schon im Vorhergehenden oftmals angeführt, daß die Tantsäure aus ihren sauren Lösungen gänzlich durch Ammoniak gefällt werden kann. Nur wenn die Lösung Weinsteinsäure oder ähnliche Säuren enthält, so erfolgt durch Ammoniak kein Niederschlag. — In der Lösung des neutralen tantalsauren Natrons wird durch Ammoniak keine Fällung erzeugt, und nach langem Stehen auch nur ein geringer Niederschlag.

Wird aber zu der Lösung des tantalsauren Kalis oder des tantalsauren Natrons eine Lösung von Chlorammonium oder von einem andern ammoniakalischen Salze gesetzt, so erfolgt sogleich ein Niederschlag, und nach einiger Zeit ist schon bei der gewöhnlichen Temperatur die Tantsäure gänzlich gefällt. Wenn die Lösung des tantalsauren Alkalis freies Alkali enthält, so wird dadurch der Niederschlag, wenn eine gehörige Menge des ammoniakalischen Salzes hinzugesetzt worden, verzögert, erfolgt aber doch bei gewöhnlicher Temperatur, obgleich oft sehr spät. Dasselbe ist der Fall, wenn auch kohlen-saures Alkali hinzugefügt worden ist. Durchs Kochen erfolgt dann die Fällung schneller.

Die Fällung durch Salmiak in einer Lösung des tantalsauren Natrons, die eine entfernte Aehnlichkeit mit frisch gefälltem Chlorsilber hat, wurde so lange mit kaltem Wasser ausgewaschen, bis durch das Waschwasser nicht mehr die Lösung des salpetersauren Silberoxyds getrübt wurde. Als das Chlorammonium entfernt war, löste sich das Salz in einem sehr geringen Grade im Wasser auf; die ablau-

fende Flüssigkeit gab dann mit salpetersaurem Silberoxyd eine schwache Opalisirung, die durch Salpetersäure wieder verschwand, und beim Abdampfen einer ziemlich bedeutenden Menge des Waschwassers blieb ein sehr geringer Rückstand. — Nach dem Trocknen war der Niederschlag von rein weißer Farbe.

1,640 Grm. der bei 100° C. getrockneten Verbindung wurden in einem Platinschiffchen in einer weitem Glasröhre zum Glühen gebracht, während ein Strom von trockener Luft darüber geleitet wurde. Das sich entwickelnde Ammoniak wurde in Chlorwasserstoffsäure geleitet; diese mit Platinchlorid versetzt, im Wasserbade zur Trockniss gebracht, der trockne Rückstand mit ätherhaltigem Alkohol behandelt und damit ausgewaschen. Es wurden 0,439 Grm. Ammoniumplatinchlorid erhalten; geglüht gaben dieselben 0,200 Grm. Platin. Das Gewicht der geglühten Verbindung betrug 1,488 Grm. Diese wurde zweimal mit saurem schwefelsaurem Ammoniak geschmelzt; sie löste sich darin nicht auf, aber gab auch kein Natron ab, und wog nach der Behandlung 1,486 Grm. — Die Zusammensetzung der Verbindung war hiernach im Hundert:

		Sauerstoff.
Tantalsäure	90,61	17,09
Ammoniumoxyd	3,11	0,96
Wasser	6,16	5,47
	<u>99,88.</u>	

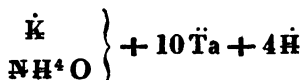
Sie kann daher durch $\text{NH}^4\text{O} + 9\ddot{\text{Ta}} + 6\text{H}$ ausgedrückt werden, und entspricht, hinsichtlich der Zusammensetzung, der Natronverbindung, welche aus der Lösung des neutralen tantalsäuren Natrons durch Kohlensäuregas gefällt worden.

Wird eine Lösung des tantalsäuren Kalis vermittelt Salmiaks gefällt, so enthält der mit kaltem Wasser ausgewaschene Niederschlag außer Ammoniumoxyd noch Kali. 5,982 Grm. der Verbindung gaben, im Platinschiffchen geglüht, und das Ammoniak durch Chlorwasserstoffsäure absorbiert, vermittelt Platinchlorids Ammoniumplatinchlorid,

das geglüht 0,448 Grm. metallisches Platin lieferte. Der Gewichtsverlust der Verbindung durchs Glühen war 0,4295 Grm. Mit saurem schwefelsaurem Ammoniak geschmolzt wurden 5,353 Grm. Tantalsäure und 0,155 Grm. schwefelsaures Kali erhalten. Die Verbindung bestand also im Hundert aus:

		Sauerstoff.
Tantalsäure	90,85	17,13
Ammoniumoxyd	2,01	0,61
Kali	1,41	0,24
Wasser	5,28	4,69
	<hr/> 99,55.	

In dieser Verbindung ist der Sauerstoff des Ammoniumoxyds und des Kalis zusammen $\frac{1}{10}$ von dem der Tantal- säure, so daß die Verbindung



wäre. Die Zusammensetzung ist der des reinen tantalsauren Ammoniumoxyds sehr ähnlich; vielleicht rühren die kleinen Verschiedenheiten von kleinen Fehlern in der Untersuchung her.

Wird die Verbindung mit heißem Wasser ausgewaschen, so enthält sie etwas mehr Kali. 1,306 Grm. der im Wasserbade getrockneten Verbindung gaben mit saurem schwefelsaurem Ammoniak zusammengeschmolzt 0,049 Grm. schwefelsaures Kali und 1,173 Grm. Tantalsäure. Die Verbindung enthielt also 89,82 Proc. Tantalsäure, 2,03 Proc. Kali und 8,15 Proc. Ammoniumoxyd und Wasser (als Verlust).

Tantalsaure Baryterde.

In der Lösung des tantalsauren Natrons entsteht durch Chlorbaryum ein voluminöser flockiger Niederschlag, der sich durchs Stehen nicht verändert. Er wurde mit kaltem Wasser ausgewaschen, so lange, bis das Waschwasser keine Reaction auf Chlor mehr zeigte.

Die tantalsaure Baryterde löst sich in sehr geringer Menge in kaltem Wasser auf, denn als im Waschwasser vermittelst der Silberoxydlösung keine Reaction mehr hervorgebracht wurde, erzeugte Schwefelsäure doch noch eine, wenn auch sehr geringe Trübung.

Wird das wasserhaltige Salz geglüht, so zeigt es eine sehr lebhafte Feuererscheinung. Durch das Glühen sintert es nicht zusammen.

Die Analyse dieses Salzes gehört wohl zu den schwierigsten Aufgaben der analytischen Chemie, denn gerade durch das Reagens, durch dessen Verbindung man die Baryterde quantitativ zu bestimmen pflegt, durch die Schwefelsäure wird auch, wie wir gesehen haben, die Tantalsäure abgeschieden.

1,421 Grm. des bei 100° C. getrockneten Salzes erlitten durchs Glühen einen Gewichtsverlust von 0,092 Grm. Das geglühte Salz wurde mit der achtfachen Menge von Kalihydrat im Silbertiegel vorsichtig geschmolzt, worin es sich vollkommen klar auflöste. Die geschmolzene Masse wurde nach dem Erkalten mit heißem Wasser behandelt, und das Ungelöste mit heißem Wasser ausgewaschen. Beim Auswaschen löste sich eine geringe Menge von kohlensaurer Baryterde auf, und die filtrirte Flüssigkeit wurde dadurch getrübt. Sie wurde mit Chlorwasserstoffsäure übersättigt; es schied sich dadurch Tantalsäure aus, die aber in der Flüssigkeit suspendirt blieb, auch nach längerer Erwärmung, und sich erst absetzte, als mit Ammoniak neutralisirt wurde. Die ausgeschiedene Tantalsäure wog nach dem Glühen 0,267 Grm.

In der filtrirten Flüssigkeit konnte durch Schwefelsäure auch nach langem Stehen keine Trübung erzeugt werden. Die geringe Menge der Baryterde ist also als tantalsaure Baryterde durch das Ammoniak gefällt worden.

Das bei der Behandlung mit Wasser Ungelöste der geschmolzenen Masse wurde lange mit Salpetersäure in der Wärme behandelt; es blieben dabei 0,675 Grm. Tantalsäure ungelöst zurück, und in der von derselben getrennten Flüs-

sigkeit wurden durch Schwefelsäure 0,614 Grm. schwefelsaure Baryterde gefällt. Nach dieser Untersuchung ist die Zusammensetzung des Salzes im Hundert:

		Sauerstoff.
Tantalsäure	66,29	12,50
Baryterde	28,36	3,96
Wasser	6,47	5,75
	<u>101,12.</u>	

Ob das Resultat der Analyse ein ganz richtiges ist, lasse ich, wegen der großen Schwierigkeit der Trennung der Tantalsäure von der Baryterde dahingestellt. Die gefundene Zusammensetzung der tantalsäuren Baryterde ist wenigstens eine anomale, wie sich dies aus den weiter unten angeführten Resultaten anderer tantalsaurer Salze ergibt. Sollte das Resultat indessen ein richtiges seyn, so kann die Zusammensetzung der Verbindung durch $2\text{Ba} + 3\text{Tä} + 3\text{H}$ ausgedrückt werden. — Es wurde übrigens die erhaltene schwefelsaure Baryterde mit Kalihydrat geschmolzt. Als die geschmolzene Masse mit Wasser behandelt wurde, war in der Lösung des Alkalis keine Spur von Tantalsäure zu entdecken. Die ungelöste schwefelsaure Baryterde wurde darauf mit saurem schwefelsauren Ammoniak zusammengesmolzt, worin sie sich vollkommen zu einem dicken klaren Syrup löste. Als dieser nach dem Erkalten mit vielem kaltem Wasser behandelt wurde, setzte sich sogleich schwefelsaure Baryterde ab, und in der davon filtrirten Flüssigkeit schied sich durchs Erhitzen keine Tantalsäure aus.

Dessen ungeachtet ist es nicht unwahrscheinlich, daß die wahre Zusammensetzung des Salzes $\text{Ba} + 2\text{Tä}$ sey, und daß das erhaltene Resultat durch die großen Schwierigkeiten, welche bei der Analyse nicht ganz überwunden werden konnten, ein nicht ganz richtiges ist.

Tantalsäure Magnesia.

I. Es wurde die Lösung des tantalsäuren Natrons durch einen Ueberschuß einer Lösung von schwefelsaurer Magnesia gefällt. Der Niederschlag ist zuerst flockig und

voluminös, wird aber nach einer halben Stunde dicht und krystallinisch. Er wurde so lange mit kaltem Wasser ausgewaschen, bis das Waschwasser nicht mehr durch die Lösung eines Barytsalzes getrübt wurde.

1,085 Grm. des bei 100° C. getrockneten Salzes verloren durchs Glühen 0,115 Grm. Es zeigte sich beim Glühen keine Feuererscheinung. Das geglühte Salz wurde mit saurem schwefelsaurem Kali geschmolzt, und aus der geschmolzenen Masse durch Wasser 0,874 Grm. Tantalsäure erhalten. Die filtrirte Lösung mit Ammoniak übersättigt, und mit phosphorsaurem Natron versetzt, gab phosphorsaure Ammoniak - Magnesia, die nach dem Glühen 0,288 Grm. wog. — Die Zusammensetzung im Hundert ist also:

		Sauerstoff.
Tantalsäure	80,55	15,19
Magnesia	9,49	3,79
Wasser	10,60	9,42
	<hr/> 100,64.	

Dieses Resultat stimmt sehr genau mit der Zusammensetzung $Mg + 2 Ta$; außerdem enthält das Salz noch $2\frac{1}{2}$ Atom Wasser; eine Quantität, welche auch in anderen neutralen tantalsäuren Salzen sich findet.

II. Es wurde nun eine Lösung von schwefelsaurer Magnesia durch einen Ueberschufs einer Lösung von neutralem tantalsäurem Natron gefällt, und der Niederschlag mit kaltem Wasser ausgewaschen.

1,102 Grm. der bei 100° C. getrockneten Verbindung verloren durchs Glühen 0,077 Grm. Durchs Schmelzen mit saurem schwefelsaurem Kali, und durch Behandlung der geschmolzenen Masse mit Wasser wurden 0,927 Grm. Tantalsäure erhalten. In der filtrirten Flüssigkeit wurde die Magnesia als phosphorsaure Ammoniak-Magnesia gefällt, die nach dem Glühen 0,272 Grm. wog. Die Zusammensetzung der Verbindung im Hundert ist also:

		Sauerstoff.
Tantalsäure	84,12	15,86
Magnesia	8,89	3,55
Wasser	6,99	6,21
	<u>100,00.</u>	

Es ist dies also eine Mischung des neutralen Salzes mit einer geringen Menge eines sauren.

Tantalsaures Silberoxyd.

In einer Lösung des salpetersauren Silberoxyds erzeugt die Lösung des tantalsauren Natrons einen weissen Niederschlag, der lufttrocken gelblich ist. Beim Trocknen wird er immer gelber, braun, und nach dem Erhitzen bei 100° C. schwarz.

1,361 Grm. der bei 100° C. getrockneten Verbindung verloren beim Glühen 0,029 Grm. Auch nach dem Glühen bleibt das Salz schwarz. Mit saurem schwefelsaurem Kali geschmolzt, wurde aus der geschmolzenen Masse 0,790 Grm. Tantalsäure erhalten, und darauf durch Chlorwasserstoffsäure 0,668 Grm. Chlorsilber. Die Verbindung besteht also im Hundert aus:

		Sauerstoff.
Tantalsäure	58,04	10,95
Silberoxyd	39,68	2,74
Wasser	2,13	1,89
	<u>99,85.</u>	

Das geglühte Salz besteht aus:

		Sauerstoff.
Tantalsäure	59,31	11,19
Silberoxyd	40,54	2,80
	<u>99,85.</u>	

Das tantalsaure Silberoxyd ist also $\text{Ag} + 2\text{Tä}$. Der Wassergehalt steht in keinem einfachen Verhältnisse zum Silberoxyd; es ist aber möglich, daß das Salz von seinem wesentlichen Wassergehalt schon beim Trocknen bei 100° verliert.

Bei einem zweiten Versuche verloren 1,408 Grm. des bei 100° C. getrockneten Salzes 0,033 Grm. durchs Glühen oder 2,34 Proc. Von dieser geglühten Verbindung wurden 1,369 Grm. mittelst Wasserstoffgas reducirt, um zu sehen, ob in Gemeinschaft mit Silberoxyd die Tantalsäure zu einer niedrigeren Oxydationsstufe oder zu Metall gebracht werden konnte. Der Gewichtsverlust betrug aber nur 0,033 Grm. oder 2,41 Proc. Es hatte also nur das Silberoxyd, nicht die Tantalsäure Sauerstoff verloren.

Das tantalsaure Silberoxyd ist vollständig in Ammoniak löslich. Durch Salpetersäure wird es zersetzt, das Silberoxyd löst sich auf, aber der größte Theil der Tantalsäure scheidet sich flockig aus. Ist das Salz aus der Lösung des tantalsauren Natrons durch Silberoxydlösung gefällt worden, und kocht man dann das Ganze, so wird der Niederschlag gelblich und endlich braun und ist dann in Ammoniak nicht mehr löslich.

Tantalsaures Quecksilberoxydul.

Es wurde zu der Lösung des neutralen tantalsauren Natrons eine klare Auflösung von krystallisirtem neutralem salpetersaurem Quecksilberoxydul gesetzt. Dieses Salz war mit Sorgsamkeit bereitet, zerrieben, mit kaltem Wasser geschüttelt, und dann sogleich angewandt, weil durch längeres Stehen in der Lösung sich Quecksilberoxyd hätte bilden können. Der Niederschlag war voluminös und von grünlichgelber Farbe, nicht ganz unähnlich dem Nickeloxydhydrat. Nach dem Filtriren wurde er mit kaltem Wasser ausgewaschen, bis das Waschwasser keine Reaction auf Salpetersäure mehr zeigte, und beim Verdampfen nur einen sehr geringen Rückstand hinterließ. Beim Trocknen wurde das Salz kastanienbraun, gab aber beim Zerreiben ein lichter Pulver als das niobsaure Quecksilberoxydul.

0,978 Grm. des bis 100° C. getrockneten Salzes wurden mit Salpetersäure (vom specifischen Gewicht 1,2) behandelt. In der Kälte fand keine Einwirkung statt, aber beim Erwärmen wurde die Verbindung mit Leichtigkeit

zersetzt; die abgeschiedene Tantalsäure war von derselben dichten Beschaffenheit wie das unzersetzte Salz. Das Ganze wurde mit Wasser verdünnt, Schwefelsäure hinzugefügt und erhitzt; aber auch dadurch verlor die Tantalsäure nicht ihre dichte Beschaffenheit. Sie wurde filtrirt und so lange ausgewaschen, als das Waschwasser vermittelt Schwefelwasserstoffwassers die Gegenwart von Quecksilber zu erkennen gab. Die geglühte Tantalsäure wog 0,430 Grm. Beim Glühen zeigte sie eine Feuererscheinung. — Das gelöste Quecksilber wurde durch Schwefelwasserstoff als Schwefelquecksilber gefällt, das getrocknet 0,580 Grm. wog. Beim Glühen verflüchtigte es sich, ohne den geringsten Rückstand zu hinterlassen.

Das bei 100° C. getrocknete Salz enthält noch Wasser, denn in einem kleinen Kölbchen erhitzt, verflüchtigte sich dasselbe und setzte sich in den Hals als Tropfen ab. Die Menge desselben wurde durch den Verlust gefunden.

Die Analyse hatte also ergeben:

		Sauerstoff.
Tantalsäure	43,97	8,29
Quecksilberoxydul	53,17	2,04
Wasser	2,86	2,54
	<u>100,00.</u>	

Die Verbindung ist also $\text{Hg} + 2\text{Tä}$, und enthält wohl ein Atom Wasser, wie wahrscheinlich auch das Silberoxydsalz.

Eine Lösung von salpetersaurem Quecksilberoxyd giebt in der Lösung des tantalsauren Natrons einen weissen Niederschlag. Da indessen die Lösung des fallenden Salzes nur durch etwas freie Salpetersäure bewirkt werden kann, so ist es möglich, daß durch diese schon das tantalsäure Natron zersetzt wurde. Durch eine Lösung von Quecksilberchlorid entsteht in der Lösung des tantalsauren Natrons keine Fällung, und nur nach langer Zeit ein geringer weisser Niederschlag. Enthält die Lösung einen Ueberschuß von Natron, so entsteht eine rothbraune Fällung von Oxychlorid des Quecksilbers. Nie aber entsteht durch Queck-

silberchlorid in den Lösungen der tantalsauren Alkalien eine Gallerte, wodurch diese sich wesentlich von den niobsauren und unterniobsauren Alkalien unterscheiden.

Durch die erhaltenen Resultate der Analysen von neutralen tantalsauren Salzen wird die von mir angenommene Zusammensetzung der Tantalsäure vollkommen bestätigt.

III. Ueber die elektrostatische Induction und die Verzögerung des Stroms in Flaschendrahten; von W. Siemens.

Vor mehreren Jahren beschrieb ich in diesen Annalen ¹⁾ und an anderen Orten die Erscheinung, daß ein kräftiger Strom von geringer Dauer auftritt, wenn man einen unterirdischen gut isolirten Telegraphendraht mit dem freien Pole einer zur Erde abgeleiteten galvanischen Kette in leitende Verbindung setzt. Ich wies ebendasselbst nach, daß diese Erscheinung der vertheilenden Wirkung der Volta-Elektricität im Drahte auf die, als äußere Belegung der Drahtflasche auftretende, Feuchtigkeit des Erdbodens zuzuschreiben sey, und auch dann auftreten müsse, wenn ein Ende des Drahtes leitend mit der Erde verbunden sey. Die meinem damaligen Aufsätze in diesen Annalen beigegeführten Ladungs-Figuren gaben vollständigen Aufschluß über die relativen Mengen der Elektricität, welche in jedem Punkte der Oberfläche des isolirten oder abgeleiteten unterirdischen oder Flaschendrahtes in statische Anordnung übergingen, wenn die Dicke des Drahtes und des isolirenden Ueberzuges unverändert blieb.

Durch anderweitige Thätigkeit, und später durch die

1) Bd. 79. 1850. S. 481. — *Annales de chim. et de phys.* 3^{me} Sér. t. XXIX, p. 385.

Ersetzung der früheren unterirdischen Telegraphenleitungen durch oberirdische, ward ich verhindert die Versuche über diesen Gegenstand weiter zu verfolgen, und die erwähnten Lücken auszufüllen. Seit jedoch die von mir im Jahre 1847 in Vorschlag gebrachte Isolirungsmethode telegraphischer Leitungen durch Umpressung mit Gutta-Percha, unter Anwendung eines besseren Materials wie uns damals zu Gebote stand, in England wieder aufgenommen ist, und sowohl zu unterirdischen, wie namentlich zu Untersee-Leitungen vielfach benutzt wird, hat auch die elektrostatische Ladung dieser Drähte und die aus ihr folgende Verzögerung des Auftretens des elektrischen Stroms am entfernten Ende der Leitung die allgemeine Aufmerksamkeit auf sich gelenkt. Ohne meine Mittheilung zu kennen, haben ausgezeichnete englische Physiker und Mathematiker, namentlich Faraday, Wheatstone und Thomson die elektrostatische Ladung und die Verzögerung des Stromes in Flaschendrähten zum Gegenstande ihres Studiums gemacht und sehr werthvolle Arbeiten darüber publicirt, durch welche theils meine früheren Beobachtungen vollständig bestätigt und erweitert, theils, und namentlich durch die von Thomson ausgeführten Rechnungen, die von mir offen gelassenen Lücken ausgefüllt wurden.

Ich werde auf diese neueren Arbeiten im zweiten Theil meines Aufsatzes mehrfach zurückkommen. Schon vor dem Erscheinen derselben war ich mit der vorliegenden durch anderweitige Beschäftigung häufig unterbrochenen Experimental-Untersuchung der elektrostatischen Induction durch Volta-Elektricität beschäftigt. Nächste Veranlassung zu derselben lag für mich in Erscheinungen, welche ich mit der bisherigen Vertheilungstheorie nicht in Uebereinstimmung zu bringen vermochte. Die oben erwähnten Arbeiten englischer Physiker bestärkten mich noch mehr in meinem Vorhaben, da sie, namentlich Thomson bei seinen Berechnungen, ganz von der von Faraday aufgestellten Theorie der *ausschließlichen* Molecular-Induction als Ursache der elektrischen Vertheilung ausgingen, ohne weitere Beweise der

Richtigkeit derselben zu geben als bisher vorlagen. Mein Zweck war nun der, auf rein experimentellem Wege die Gesetze der elektrostatischen Vertheilung durch Volta-Elektricität zu finden und zu constatiren, um dadurch eine sichere Basis für practische Constructionen zu gewinnen. Wissenschaftliche Betrachtungen und Seitenblicke auf die Theorien, welche auf Versuche mit Elektricität von hoher Spannung begründet sind, konnte ich zwar nicht vermeiden, lege aber nur insofern besonderen Werth auf dieselben, als sie die für Volta-Elektricität gewonnenen Resultate klarer beleuchten.

Volta hat durch seine Condensator-Versuche schon gezeigt, daß die mit dem isolirten Pole einer galvanischen Kette in leitende Verbindung gebrachten Körper auf benachbarte Leiter wirken. Guillemin ¹⁾ publicirte zuerst Versuche, aus denen sich ergab, daß der durch ein Galvanometer geführte Ladungsstrom einer durch Volta-Elektricität geladenen Flasche die Nadel des Instruments merkbar abzulenken vermag. Ich hatte zwar schon im Sommer 1849 erkannt, daß der kräftige Ausschlag der Nadel eines Galvanometers, welches zwischen einem isolirten in der feuchten Erde oder im Wasser liegenden Flaschendraht, und einer abgeleiteten galvanischen Batterie eingeschaltet wird, auf elektrostatischer Ladung des Flaschendrahtes beruhte, und diese Ansicht, so wie die Versuche, auf welche sie sich stützte, der Berliner physikalischen Gesellschaft am 18. Januar 1850 mitgetheilt; mein Aufsatz ward aber später abgedruckt wie der Guillemin's.

Dieser verband die Stanniolbelegungen eines aus dünnem Taftt oder Gutta-Percha gebildeten Condensators von 1 bis 2 Quadratmeter Oberfläche in schneller Reihenfolge abwechselnd mit den Polen einer isolirten galvanischen Batterie und den Drähten eines Galvanometers. Diefes wurde durch einen Scheiben-Commutator, welcher in schnelle Rotation gesetzt ward, ausgeführt. Er fand auf diese Weise, daß die Nadel des Galvanometers abgelenkt ward, und daß

1) *Compt. rend. T. XXIX, p. 632. Ann. Bd. 79, S. 335.*

diese Ablenkung mit der Geschwindigkeit der Drehung des Commutators und der Stärke der Batterie zunahm. Messende Versuche sind meines Wissens weder *von ihm* noch von Andern bisher hierüber angestellt worden. Bei den im Jahre 1849 angestellten Versuchen benutzte ich die vorhandenen unterirdischen Telegraphenleitungen. Dieselben wurden am entfernten Ende isolirt und das andere Ende mittelst eines Commutators abwechselnd mit dem freien Pole einer abgeleiteten galvanischen Batterie und mit einem direct zur Erde führenden Drahte in leitende Verbindung gebracht. Der Draht des zwischen dem unterirdischen Leiter und dem Commutator eingeschalteten Galvanometers ward mithin abwechselnd vom Ladungs- und vom Entladungsstrom durchlaufen. War die Ladungszeit klein gegen die Schwingungsdauer der Nadel, so konnte der Sinus des halben Ausschlagwinkels als Maass der Elektrizitätsmenge angenommen werden, welche durch das Galvanometer gegangen war. Er war mithin auch das Maass der Ladungsgröfse. Bei nicht zu langen sehr gut isolirten Leitungen bekam ich auf diese Weise ausreichend genaue Resultate. Es ergab sich, dafs der Ausschlag der Ladung eben so grofs war, wie der der Entladung. Die Ladung war ferner proportional der Länge der Leitung und der elektromotorischen Kraft der benutzten Batterie.

Zu genaueren Messungen liefs sich diese Methode aufser manchen lokalen Schwierigkeiten schon deswegen nicht benutzen, weil die langen Leitungen nicht vollkommen genug isolirt waren, und weil die Ladungsströme eine zu grofse Dauer hatten.

Meine späteren Versuche waren anfänglich auch nur darauf gerichtet, die relative Gröfse der Ladung bei Flachendrähten von verschiedenen Dimensionen des Drahtes und des isolirenden Ueberzuges, so wie die Ladung zwischen Doppeldrähten, welche, in geringer Entfernung von einander, im Innern eines gemeinschaftlichen Ueberzuges von Gutta-Percha, von kreisförmigem oder elliptischem Querschnitt, liegen, zu bestimmen. Ich liefs mir zu diesem

Zweck mehrere Drähte von einer englischen Meile Länge anfertigen, bei denen die Dicke der isolirenden Gutta-Percha-Hülle innerhalb practisch anwendbarer Gränzen variierte. Diese Drähte wurden auf Holztrommeln gewickelt und in ein hölzernes, mit Zinkblech ausgelegtes Bassin gelegt, welches mit Wasser gefüllt ward. Wurde nun eine galvanische Batterie von 20 bis 60 Daniell'schen Elementen mit einem Galvanometer mit einfacher Nadel und 24000 Windungen zwischen einem solchen isolirten Draht und der Zinkhülle des Bassins eingeschaltet, so erhielt ich hinlänglich große Ausschläge der Nadel zur Messung der Ladung.

Ich überzeugte mich jedoch bald, daß ich auf diesem Wege keine sicheren und allgemein gültigen Resultate erlangen konnte. Die geringste Unvollkommenheit der Isolation hatte einen sehr beträchtlichen Einfluß auf die Größe des Ausschlags der Nadel, der sich bei der Veränderlichkeit des durch die Gutta-Percha gehenden Stroms nicht in Rechnung stellen ließ. Die Dauer des Ladungsstroms war ferner schon beträchtlich genug, um Einfluß auf den Ausschlag der Nadel auszuüben. Es ergab sich endlich, daß die Resultate der Messungen so wesentlich von den nach der Theorie erwarteten abwichen, daß eine allgemeinere Untersuchung des Vorganges der elektrostatischen Induction durch Volta-Elektricität geboten war.

Ich habe bei dieser Untersuchung die von Guillemin benutzte Methode, eine continuirliche Reihe von Ladungs- oder Entladungsströmen durch ein empfindliches Galvanometer zu leiten, angewandt. Um diese Methode zur Messung benutzen zu können, mußte ein Commutator construirt werden, welcher mit Sicherheit und durchaus constanter Geschwindigkeit die Commutation ausführte. Ich benutzte dazu denselben Mechanismus, den ich bei meinem an mehreren Orten beschriebenen Zeigertelegraphen mit selbstthätiger Stromunterbrechung angewendet habe. Es bewog mich dazu die bei diesen Telegraphen gemachte Beobachtung, daß die Geschwindigkeit des Ganges des Telegraphen

von der Stromstärke nur in sehr geringem Grade abhängig war. Dies erklärt sich dadurch, daß bei größerer Stromstärke zwar der Anzug des Ankers schneller ausgeführt wird, der Rückgang desselben jedoch durch den stärkeren rückbleibenden Magnetismus so verzögert wird, daß die Zeit der Gesamtoscillation nahe unverändert bleibt. Fig. 1 und 2 Taf. I stellen die hiernach construirte *selbstthätige Wippe* in oberer und Seitenansicht in halbem Maasstabe dar.

Zwischen den Polen a und a' des unter der Grundplatte des Apparats befindlichen Elektromagnets oscillirt das als Anker dienende Eisenstück b . Dasselbe dreht sich um die verticale Axe c . An der Axe ist der horizontale Arm d befestigt, welcher durch die Zugfeder e das Zahnrad f bewegt und kurz vor der Begränzung seiner Oscillationen durch die Anschlagschrauben m und n vermittelt der, mit isolirenden Steinen versehenen, Anschlagstücke i und i_1 , die Schieber K und K' bewegt. Diese Schieber drehen sich um die Axe l und l' . Ihre Bewegung ist durch die Contactschrauben m und n und resp. m' und n' eng begränzt. Das federnde Ende der Schieber K und K' ist mit einer abgerundeten Spitze aus glashartem Stahl versehen, welche bei jeder Bewegung des Schiebers von einem Contacte zum andern über die Schneide eines flachen Steinprismas fortgleiten muß. In Fig. 3 Taf. I ist dieser Mechanismus besonders abgebildet. Die Kraft, mit welcher die Spitze auf den geneigten Flächen des Prismas fortzugleiten strebt, hält den Schieber in sicherem Contact mit den seine Bewegung begränzenden Contactschrauben. Wie schon erwähnt, schlagen die Steine der auf dem Hebel d befestigten Metallstücke an die zu diesem Zwecke an den Schiebern angebrachten Lappen o und p und o' und p' erst kurz vor Beendigung jeder Oscillation, mithin dann, wenn die Geschwindigkeit des Hebels am größten ist. Die Zeit, welche die Schieber gebrauchen, um ihren sehr kleinen Weg zurückzulegen, ist daher äußerst gering. Es ist noch der Zweck der am Hebel d befestigten Feder g und der

Schraube *h*, welche ihr gegenübersteht, zu erwähnen. Sie dienen zur Beschleunigung der Oscillationen. Die Schraube wird so gestellt, daß die Feder sie trifft, wenn der der Anziehung der Magnetspole folgende Anker etwa $\frac{2}{3}$ seines Weges zurückgelegt hat. Die Feder muß sich daher biegen und verstärkt hierdurch die der Anziehung des Magnetspols entgegenwirkende Kraft der Spiralfeder *q*. Richtiger würde es seyn, statt der beiden Federn *g* und *q* eine einzige Feder anzuwenden, welche so kurz wäre, daß ihre Kraft proportional mit der Anziehung des Magnetes zunähme — was sich aber nicht ausführen läßt. — Das Rad *f* ist mit 60 Zähnen versehen, die Zahl seiner Umdrehungen in der Minute giebt daher die Zahl der doppelten Oscillationen in der Sekunde. Der Schieber *k* und die Contactschraube *m* bilden Theile der Stromleitung der Batterie, welche den Apparat in Bewegung setzt. Sie besteht aus 3 bis 4 Daniell'schen Zellen. Sind die Federn *g* und *q* richtig eingestellt, so erfolgen die Oscillationen sehr schnell und durchaus gleichförmig, wie aus der nachfolgenden Versuchsreihe sich ergibt. Der Schieber *k* sowohl, wie seine Contactanschlüsse sind durch gehärteten Kautschuck vollkommen isolirt. Sie bilden zusammen eine einfache schnell und gleichmäÙig functionirende Wippe.

Zur Prüfung des Apparates setzte ich denselben mit drei Daniell'schen Elementen in Gang. Diefß lieÙ sich vermittelt eines Contacthebels genau in dem Momente ausführen, in welchem eine im Zimmer befindliche magneto-elektrische Uhr um eine Minute vorrückte. Mit dem Schlage der zweiten Minute ward der Contacthebel wieder geöffnet, und am Zähler und Zeiger die Zahl der gemachten Oscillationen abgelesen. Der Apparat ward darauf wieder in Gang gesetzt und jedes Mal nach Verlauf einer Stunde der Versuch wiederholt. Ich erhielt hierdurch folgende Zahlen:

Nach Stunden.	Zahl der Oscillationen	
	in 2 Minuten.	pro Sekunde.
0		
1	7231	60,25
2	7250	60,41
3	7215	60,12
4	7211	60,08

Die kleinen Abweichungen erklären sich hinreichend durch die Schwierigkeit die Herstellung und Unterbrechung des Stromes genau in dem Momente eintreten zu lassen, in dem man die Uhr hört, ferner aus Stromschwankungen und der nicht ganz constanten Arbeit, welche das Werk vollführen mußte um das Rad und den Zähler zu bewegen. Ich liefs daher bei den späteren Messungen beide ganz fort, und überzeugte mich auf eine andere, später zu beschreibende Art, von der Gleichförmigkeit der Bewegung der Wippe.

Das benutzte Galvanometer ist eine sorgfältig gearbeitete Sinusbusssole mit einem Prismafernrohr von dreifacher Vergrößerung, durch welches ich die Nadel mit großer Genauigkeit bis auf $\frac{1}{10}^{\circ}$ auf den Theilstrich der Nulllinie einstellen konnte. Durch einen fünftheiligen Nonius konnte ich $\frac{1}{5}$ Grade ablesen und $\frac{1}{10}$ Grade schätzen. Der Multiplikator ist mit zwei Drähten bewickelt, deren Enden an isolirten Klemmen befestigt sind, so daß ich sie parallel, einzeln oder hinter einander einschalten konnte. Das Galvanometer war durch Klötze von gehärtetem Kautschuck gut isolirt, sorgfältig horizontal gestellt, und die Aufhängung des Fadens in die Drehaxe gebracht. Zur Beseitigung der geringen Excentricität der Theilung machte ich in der Regel bei jedem Versuch zwei Ablenkungen mit umgekehrter Stromrichtung, und nahm das Mittel. Bei Anwendung astatischer Nadeln, denen ich immer hinlängliche Richtkraft liefs, ward außerdem noch nach jeder Ablesung die Ruhestellung controllirt. Die Umkehrung des Stromes geschah durch einen neben dem Instrumente befindlichen

Commutator. Ein zweiter bei der Batterie befindlicher Commutator gestattete schnell die Stromleitung so umzuschalten, daß der durch das isolirende Material etwa hindurchgehende Strom direct durch das Galvanometer ging. Die Batterien, welche ich benutzte, bestanden ausschließlich aus Daniell'schen Elementen. Dieselben wurden jeden zweiten Tag neu gefüllt, und erhielten sich dann im Laufe eines Tages hinlänglich constant. Zu vergleichende Versuche stellte ich immer kurz nach einander an. Bei Beginn und am Schlusse einer jeden Versuchsreihe notirte ich die Ablenkung der Nadel durch die continuirliche Entladung einer Maafsflasche. blieb dieselbe nicht unverändert, so wurden die dazwischen ausgeführten Versuche wiederholt. Es diente dies zur Versicherung, daß in den Instrumenten und Batterien keine Veränderung eingetreten war. Außerdem gab dies Verfahren ein Mittel, die Beobachtung verschiedener Zeitperioden zu vergleichen, von dem ich jedoch nur selten Gebrauch gemacht habe. In den nachstehenden Versuchstabellen bedeuten die Zahlen der ersten mit n bezeichneten Columnne durchgehends die Zahl der benutzten Zellen. In den ersten Tabellen sind die Ablesungen des Nonius des Theilkreises selbst angegeben. In den spätern ist nur die halbe Differenz der beiden Ablesungen angegeben. Der Sinus dieses Winkels ist proportional der Menge der Elektrizität, welche in der Zeiteinheit durch das Galvanometer gegangen ist, mithin bei constantem Gange der elektromagnetischen Wippe auch proportional der Gröfse jeder einzelnen Ladung oder Entladung, vorausgesetzt, daß die Magnetisirung der Nadeln keine Aenderung erleidet.

Die zu diesen Messungen benutzten Stromleitungen sind Fig. 1, 2 und 3 Taf. II dargestellt. a und b sind die Belegungen der Flasche oder des Condensators, deren Ladung geprüft werden sollte, c ist die oscillirende Zunge der Wippe, d und e die isolirten Contactanschlüge derselben, f das Galvanometer, g die Batterie. War der Commutator so gestellt, daß Schema 1 erfüllt war, so war das Galvanometer mit der Batterie direct zwischen die Condensator-

platten oder die Belegungen der Flasche eingeschaltet, die geringste Unvollkommenheit der Isolation mußte sich daher zeigen. Die Commutatorstellung 2 leitet alle Ladungs-, die Stellung 3 alle Entladungsströme durch das Galvanometer. Da sich bei der ersten Versuchsreihe die vollständige Gleichheit der Ladungs- und Entladungsströme herstellte, wenn die Isolation vollkommen war, so benutzte ich später gewöhnlich nur das Entladungsschema (3).

Der bei den nachstehenden Versuchen benutzte Condensator bestand aus einem $0,98 \square^{\text{dm}}$ großen $0,1^{\text{mm}}$ dicken Glimmerblatte, welches auf beiden Seiten mit Stanniol so bekleidet war, daß der Rand etwa 5^{mm} breit unbelegt blieb. Der Condensator lag auf einer isolirten Metallplatte, welche mit der Zunge der Wippe leitend verbunden war. Die obere Belegung war durch einen isolirten Draht mit der Batterie und dem Galvanometer der Art leitend verbunden, daß die Berührungsstelle sich beliebig verschieben ließ. Ferner konnte ich einen zu dem Gasleitungsrohr führenden Draht beliebig mit der einen oder der andern Belegung verbinden. In den von der Belegung *a* zur Wippe *c* führenden Draht war ein Rheostat eingeschaltet. Derselbe ist Fig. 4 Taf. I besonders abgebildet. Er besteht aus einem mit Seide besponnenen dünnen Neusilberdraht, welcher auf zwei Rollen *A* und *B* gewickelt ist. Nachdem bei der kleinen Rolle *A*, eine deutsche Meile Widerstand, auf zwei englischen Linien dicken Eisendraht reducirt, bei der großen 10 Meilen Widerstand aufgewickelt sind, ist ein Zweigdraht an ihm befestigt, welcher durch die Wand der Rolle hindurch zu einer Klemme führt. Diese Abzweigung wiederholt sich bei der kleinen Rolle nach fernerer Aufwicklung einer Meile, bei der großen nach je 10 Meilen. Die Klemmen sind durch einen Metallstöpsel beliebig mit dem einen Drahte der Stromleitung in Verbindung zu setzen, deren anderes Ende mit dem Anfang des isolirten Drahtes dauernd verbunden ist. Man konnte hierdurch leicht 1 bis 99 Meilen Widerstand in die Leitung einschalten.

Tabelle I.

1. Zahl der Daniell'- schen Zellen n	2. Ablesung der Sinus- bussole.	3. Ablenkung der Nadel α	4. $\sin \alpha$	5. $\frac{\sin \alpha}{n} \cdot 100$	6. Diffe- renzen
0	277,4				
3	282,5	5,1	0,0889	29	+ 0,7
4	284,1	6,7	0,1166	29	+ 0,7
5	285,7	8,3	0,1443	29	+ 0,7
6	287,3	9,9	0,1719	28	- 0,3
0	277,4				
7	288,9	11,5	0,1994	28	- 0,3
8	290,6	13,2	0,2283	28	- 0,3
9	292,4	15,0	0,2588	28	- 0,3
7	289,0	11,6	0,2010	29	- 0,7
3	282,6	5,2	0,0906	30	+ 1,7
0	277,4				
18	307,2	29,8	0,4970	27	- 1,3
12	296,7	19,3	0,3004	27	- 1,3
12	296,9	19,5	0,3338	28	- 0,3
21	311,7	34,3	0,5635	27	- 1,3
3	282,6	5,2	0,0906	30	+ 1,7

Bei Anstellung jedes Versuches dieser Tabelle ward, nachdem die Nadel durch Drehung des Galvanometers wieder auf Null zurückgeführt war, der ganze Widerstand von 99 Meilen eingeschaltet und der Stand der Nadel wieder beobachtet. Darauf ward die Leitung mit der Gasleitung in leitende Verbindung gebracht, und dann der die andere Belegung berührende Draht von der Mitte bis zur äußersten Kante der Belegung verschoben. Endlich ward die Stromleitung so commutirt, dafs anstatt der Entladungs- die Ladungsströme durch das Galvanometer geleitet wurden. Es ergab sich, dafs durch alle diese Veränderungen die Ablenkung der Nadel nicht im Mindesten verändert wurde. Aus Columnne 4 ergibt sich, dafs die Ablenkung der Nadel proportional der Zahl der benutzten Zellen, mithin der elektromotorischen Kraft der Batterie ist. Die kleine Verminderung der berechneten Werthe für die Ablenkung durch ein Element mit der Verstärkung der Batterie blieb bei späteren Versuchsreihen fort, wenn das Mittel zweier Ablesungen mit umgekehrter Stromrichtung genommen ward,

ist mithin als Fehler des Instrumentes zu betrachten. Es lassen sich hieraus folgende Schlüsse ziehen.

- 1) »Die Ladung eines Condensators, oder die Quantität der auf seinen Flächen angesammelten Elektrizität ist proportional der elektromotorischen Kraft der Batterie.«
- 2) »Sie ist unabhängig von dem Widerstande der Zuleitungsdrähte, und unabhängig von der Lage des Orts, wo der Zuleitungsdraht die Belegung des Condensators berührt.«

- 3) »Sie wird durch ableitende Berührung eines Batteriepol's oder einer der beiden Belegungen nicht geändert.«

Die erste dieser Schlusfolgerungen bedarf keines weiteren Commentars. Es war zu erwarten und dem Verhalten der Reibungselektrizität analog, daß die Ladung eines Condensators der elektrischen Kraft der Batterie oder der Dichtigkeit der Elektrizität der unerschöpflichen Quelle, durch welche er geladen wird, proportional ist. Die zweite besagt noch, daß die Dauer der einzelnen Ladungen oder Entladungen in diesem Falle geringer war, wie etwa $\frac{1}{120}$ Sekunde, d. i. die Dauer einer halben Oscillation der Wippe und zwar auch dann noch, wenn die Ladungszeit durch Einschaltung des Widerstandes von 99 Meilen beträchtlich verlangsamt war. Die dritte bietet eben so wenig etwas unerwartetes; dagegen war es mir sehr überraschend, daß die Lage des Berührungspunktes des Zuleitungsdrahtes mit der isolirten Condensatorplatte ohne allen Einfluß auf die Größe der Ablenkung der Nadel war. Es schien mir im Gegentheil wahrscheinlich, daß die Ladung am größten seyn würde, wenn man die Mitte der Belegung mit dem Zuleitungsdraht berührte, und daß sie um so kleiner werden würde, je mehr man die Berührungsstelle zum Rande hin verschöbe. Dieß war jedoch durchaus nicht der Fall. Der Stand der Nadel blieb durchaus unverändert so lange der Zuleitungsdraht nur in Berührung mit der Belegung war, selbst dann, wenn nur eine der äußersten Spitzen der rechteckigen Stanniolbelegung in Berührung mit ihm war. Ich habe diesen Versuch mannichfach variirt, mit

Condensatoren und Leydener Flaschen der verschiedensten Form und Größe, aber immer mit ganz demselben Erfolge. Für den Fortgang meiner Untersuchung war dies Resultat, d. i. *die Unabhängigkeit der Ladung eines Ansammlungs-Apparates von der Anbringung der Zuleitungsdrähte* sehr wichtig, indem die Experimente durch Wegfall dieser Rücksicht viel einfacher und zuverlässiger wurden.

Die Betrachtung der obigen Versuchsreihe beseitigt gleichzeitig manche Bedenken, die man gegen die Zuverlässigkeit meiner Untersuchungsmethode aufstellen konnte. Eine der wichtigsten dürfte wohl diese seyn, ob sich das Magnetisierungsverhältniß der benutzten astatischen Nadeln nicht dauernd, oder auch nur vorübergehend, während der Entladungen, verändert. In der That habe ich immer große Vorsicht obwalten lassen müssen, um mich vor hieraus entspringenden Fehlern zu sichern. Nur vollkommen glasharte Magnetenadeln aus Gußstahl, welcher sich ganz besonders zur Anfertigung von Stahlmagneten eignete, waren auch bei starken Entladungsströmen hinlänglich constant. Es ergab sich dies sowohl daraus, daß die Schwingungsdauer des Nadelpaars unverändert blieb, wie auch daraus, daß die Ruhelage desselben sich nicht änderte. Wäre eine vorübergehende Aenderung des Magnetisierungszustandes der Nadeln eingetreten, so hätte sich die Ablenkung bei Einschaltung eines beträchtlichen Widerstandes in dem Kreise des Galvanometers verändern müssen. Bei sehr starken Batterien und sehr schwachen Ansammlungsapparaten habe ich in der That diese Erscheinung beobachtet, wenn der Entladungsstrom nur den Widerstand des Galvanometerdrahtes zu überwinden hatte. Da sich die Schwingungsdauer und die Stellung der Nadeln hierbei nicht verändert hatten, so muß man annehmen, daß die Stromstärke zwar ausreichend war um den Magnetismus der Nadeln, namentlich den der innern, zu ändern, daß die Dauer des Stromes aber nicht groß genug war, um diese veränderte Magnetisirung zu fixiren. Daß die Dauer des magnetisirenden Stromes von wesentlichem Einfluß auf die Größe

des bleibenden Magnetismus ist, ist eine bekannte Thatsache. Es ist daher wohl denkbar, daß ein heftiger Strom von sehr kurzer Dauer, wie der Entladungsstrom einer Leydener Flasche, den Magnetismus einer Nadel momentan vollständig vernichten oder umkehren kann, daß mithin auch die elektromagnetische Wirkung dieses Stromes auf die Nadel nicht im erwarteten Maasse oder gar nicht eintritt, daß aber dennoch die bleibende Magnetisirung der Nadeln sich gar nicht oder wenig geändert zeigt, wenn der Entladungsstrom aufgehört hat. Es deutet dies darauf hin, daß harter Stahl sich hinsichtlich seiner magnetischen Coërcitivkraft ähnlich verhält, wie unvollkommen elastische Körper bei Stößen von sehr kurzer Dauer. Um gegen derartige Störungen der Messungen ganz gesichert zu seyn, habe ich später stets den Widerstand von 99 Meilen in den Kreis des Galvanometers eingeschaltet, und außerdem die Belegungen einer Batterie von 9 Leydener Flaschen oder eines andern Ansammlungsapparates von beträchtlich großer Capacität mit den Galvanometerdrähten verbunden. Es mußte sich dann die zu messende Ladung erst auf die Belegungen dieses Ansammlungsapparates ausbreiten, bevor sie die Widerstandsrolle und den Galvanometerdraht durchlief. Der Entladungsstrom erhielt mithin größere Dauer und entsprechend geringere Intensität. Auf die Größe der Ablenkung der Nadel ist weder die Anbringung eines solchen Reservoirs am Galvanometerdraht, noch die Einschaltung eines Widerstandes in denselben von Einfluß, da die Entladungszeit immer noch wesentlich kleiner ist, als die Dauer einer Oscillation der Wippe.

Aus der Unabhängigkeit der Ablenkung der Nadel von der Größe des eingeschalteten Widerstandes könnte man leicht schließen, daß die Beschaffenheit und Lage der Zuleitungsdrähte ganz ohne Einfluß wäre. Dies ist jedoch nur in Bezug auf die vom Ansammlungsapparat zu dem Galvanometer, nicht hinsichtlich der von der Batterie zur Wippe und zum Ansammlungsapparat führenden Drähte der Fall. Die letzteren bilden selbst einen Ansammlungs-

apparat, wie später noch weiter erörtert werden wird, dessen Ladungsstrom ebenfalls durch das Galvanometer geht, und die Nadeln ablenkt. Ich änderte daher meine erste Disposition dahin ab, daß ich Wippe und Ansammlungsapparat ganz in die Nähe der Batterie stellte, und mich bei Versuchen mit sehr empfindlichen Nadeln, vor Beginn derselben stets durch Ausschließung des benutzten Ansammlungsapparates von der Wirkung der Zuleitungsdrähte allein überzeugte, und sie eventuell in Rechnung brachte. Auf die Größe der Ladung des Ansammlungsapparates selbst ist die Länge und Form der Zuleitungsdrähte dagegen ganz ohne Einfluß. Wenn ich die Ladung eines beliebigen Ansammlungsapparates mit kurzen Zuleitungsdrähten maß, und darauf einen frei zwischen den Gebäuden des Hofes ausgespannten Kupferdraht von 1^{mm} Dicke und 50^m Länge als Batteriedraht benutzte, so vermehrte sich die gemessene Ladung ganz unabhängig von der Capacität des Ansammlungsapparates bei unveränderter Batterie um eine constante Größe, die genau mit der Ladung des Zuleitungsdrahtes allein übereinstimmte.

Zur weiteren Controlle der Zuverlässigkeit meiner Untersuchungsmethode und um gleichzeitig der von mir gemachten Annahme, daß die Ladung eines jeden Punktes der Oberfläche eines abgeleiteten Flaschendrahtes proportional der, nach dem Ohm'schen elektroskopischen Gesetz, diesem Punkte zugehörigen elektrischen Kraft oder Dichtigkeit sey, auch experimentell nachzuweisen, stellte ich die nachstehende Versuchsreihe an.

Tabelle II.

1. Zahl d. Zellen n	2. w	3. w'	4. Able- sung	5. α	6. $\sin \alpha = Q$ beobacht.	7. berechn.	8. Diffe- renzen.
8	200	800	305,6 256,0	24,8	0,4193	0,424	+ 0,006
8	300	700	258,8 305,5	22,3	0,3794	0,371	- 0,008
8	400	600	299,6 262,4	18,6	0,3189	0,318	0
8	500	500	265,4 296,2	15,4	0,2655	0,265	0
8	600	400	268,8 294,0	12,6	0,2180	0,212	- 0,006
8	800	200	275,6 287,6	6,0	0,1045	0,106	+ 0,002

Die hierbei benutzte Stromleitung ist in Fig. 5 Taf. II dargestellt. Der mit w und w' bezeichnete Kreis stellt die Drahtleitung dar. In denselben ist die Batterie B dauernd eingeschaltet. Die Zunge der Wippe A ist mit dem Knopfe einer Leydener Flasche C , der eine Contact der Wippe mit dem Galvanometer D in leitender Verbindung. - Der andere Galvanometerdraht, die äußere Belegung der Flasche und der eine Batteriopol sind unter sich und mit dem Erdboden leitend verbunden. Der mit dem andern Contacte der Wippe verbundene Draht, wird an den Punkt des Kreises geführt, dessen »elektroskopische Kraft« gemessen werden soll. Ist E die elektromotorische Kraft der Batterie, so ist nach dem Ohm'schen Spannungsgesetze die elektrische Kraft $x = C \cdot \frac{w'}{w + w'}$, wenn w und w' die Widerstände von dem Punkte des Drahtes, an welchem x gemessen werden soll, bis zur Batterie bezeichnen. Ich benutzte als Prüfungsdraht eine aus überspannenem Neusilberdraht aufgewickelte Widerstandsrolle, deren Widerstand ziemlich genau in 10 Theile getheilt war, von denen jeder dem Widerstande einer Telegraphenleitung aus 2^{mm} dickem Eisendraht von 100 russischen Werst Länge entsprach. Columne 1 giebt die Zahl der Zellen, Columne 2 und 3 die

Widerstände w und w' , 4 die Ablesungen des Theilkreises der Sinusbusssole, 5 die halbe Differenz derselben, mithin den gemessenen Ablenkungswinkel α , 6 den Sinus dieses Winkel, welcher die Gröfse der Ladung der Flaschen mit hin der Dichtigkeit x entspricht. Columnne 7 giebt die nach der Formel berechneten Werthe. Die Constante ist für jede Messung berechnet und von allen das Mittel genommen. Sie ist gleich 0,53. Die hinreichende Uebereinstimmung der beobachteten Werthe beweist die Richtigkeit meiner Voraussetzung und wird gleichzeitig das Zutrauen zu der benutzten Messungsmethode erhöhen.

Ich ging nun dazu über, die Abhängigkeit der Ladungsgröfse, von der Form und Gröfse der Ansammlungsapparate zu bestimmen.

Die nachstehende Versuchsreihe ist mit einer elektrischen Batterie von 9 Flaschen angestellt, von denen jede 13 cm^2 innere Belegung und 4 mm durchschnittliche Glasstärke hatte. n bezeichnet die Anzahl der benutzten Daniell'schen Zellen, s die Anzahl der Flaschen, α den gemessenen Ablenkungswinkel.

Tabelle III.

Anzahl der benutzten Elemente n	Anzahl der Flaschen s	Ablenkung der Nadel α	$\sin \alpha$	$\frac{\sin \alpha}{n \cdot s}$
8	9	32,2	0,5328	0,074
8	8	27,5	0,4630	0,072
8	7	24,4	0,4130	0,073
8	6	20,8	0,3550	0,073
8	5	16,4	0,2823	0,070
8	4	13,2	0,2283	0,071
8	3	10,0	0,1736	0,072
16	3	20,7	0,3534	0,073
18	5	42,3	0,6729	0,074

Die hinreichend constanten Zahlenwerthe der letzten Columnne zeigen, daß die Ladung einer aus mehreren Flaschen zusammengesetzten Batterie sich wie die Producte aus der Anzahl der Flaschen in die elektromotorische Kraft der Kette verhält, wie zu erwarten war. Wenn ich die

Flaschen in einer Reihe neben einander stellte, anstatt in drei Reihen nach gewöhnlicher Art dicht neben einander, so änderte sich die Gröfse der Ladung dadurch nicht im Geringsten. Es war dies eine Bestätigung der schon früher nachgewiesenen Unabhängigkeit der Ladung von der Anbringung und Form der Zuleitungsdrähte, und machte es mir noch wahrscheinlicher, dafs bei Elektrizität niedriger Spannung die Capacität der Ansammlungsapparate *nur* von der Flächengröfse — bei unveränderter Dicke und Beschaffenheit und Form des isolirenden Materials — abhängig wäre. Ich habe die bedingte Richtigkeit dieser Annahme vielfach erprobt und überall bestätigt gefunden. Um Wiederholungen zu vermeiden, verschiebe ich jedoch den experimentellen Nachweis dieses Satzes, da die darüber angestellten Versuche gleichzeitig später zu erörternde Fragen beantworten.

Zur Untersuchung des Einflusses der Dicke der isolirenden, die beiden parallelen Belegungen eines Condensators trennenden Schichten, liefs ich mir mehrere möglichst parallel geschliffene 1^{mm} dicke Glasplatten, welche sämtlich 0,26^m lang und 0,21^m breit waren, anfertigen. Ich überzeugte mich von der hinlänglich gleichmäfsigen Dicke dieser Platten durch einen Fühlhebel, welcher mit Schärfe $\frac{1}{100}$ ^{mm} angab. Zwei solche Platten wurden mit zwei einander genau gegenüberstehenden 0,24^m langen und 0,18^m breiten Stanniolbelegungen versehen. Die gemessene Ladung ergab für beide ziemlich genau dieselbe Capacität. Es wurden nun zwei andere Platten nur auf einer Seite mit einer Stanniolbelegung von obigen Dimensionen versehen. Eine solche einseitig belegte Platte ward auf etwa 6" hohe isolirende Stützen gelegt, und ihre Belegung mit der Zunge der Wippe verbunden. Ward nun ein Batteriepol in leitende Verbindung mit der einen, ein Galvanometerdraht mit der zweiten Contactschraube der Wippe gesetzt, so wurde die Nadel abgelenkt und die Gröfse der Ablenkung war der Zahl der Zellen der benutzten Kette proportional. Die Ablenkung verminderte sich, wenn die

Glasplatte möglichst frei in der Mitte des Zimmers gehalten wurde, und verstärkte sich um so mehr, je mehr man dieselbe den Wänden des Zimmers näherte. Mit einem sehr empfindlichen Nadelpaare und einer Batterie von 54 Daniell'schen Elementen konnte ich dieselbe Erscheinung fast an jedem isolirten Leiter nachweisen, welchen ich in leitende Verbindung mit der oscillirenden Zunge der Wippe brachte, war mithin im Stande auch die sogenannte freie Elektrizität, welche durch die elektrische Spannung des isolirten Batteriepol's auf der Oberfläche eines beliebigen Conductors angehäuft wird, durch das Galvanometer zu messen und mit der Flaschen-Elektrizität quantitativ zu vergleichen. Der wesentliche Einfluß der gröfseren oder geringeren Nähe der Zimmerwände auf die Quantität dieser freien Elektrizität machte es mir jetzt schon sehr wahrscheinlich, dafs dieselbe lediglich eine Ladung zwischen dem Conductor und den leitenden Wänden des Zimmers ist, in welchem er sich befindet — wie Faraday es bekanntlich annahm.

Die Ladung eines Conductors besteht nun offenbar aus zwei Theilen, der Ladung zwischen der isolirten Belegung und den Zimmerwänden, und der zwischen der isolirten und nicht isolirten Belegung. Das Galvanometer misst die Summe beider. Um die letztere zu finden verfuhr ich daher so, dafs ich erst die freie Elektrizität der isolirten Belegung ermittelte und darauf die Gesamtladung, indem die zweite Belegung, welche bisher isolirt war, mit der Erde leitend verbunden wurde. Von dieser Gesamtladung war die Hälfte der Ladung der isolirten Belegung in Abzug gebracht. Dafs nur die Hälfte in Abzug zu bringen ist, ergibt sich jetzt schon aus der Betrachtung, dafs man die abgeleitete Belegung sich so dick denken kann, dafs sie die Zimmerwand erreicht, ohne dafs dadurch die Ladung vermehrt werden kann. Es bleibt also nur die Ladungsgröfse der abgewendeten Seite der isolirten Belegung mit den Zimmerwänden zu berücksichtigen.

Zur Erläuterung der nachstehenden Versuchsreihe mit

7 Glasplatten von 1^{mm} Dicke bemerke ich noch, daß die wohlgereinigten Platten mit rectificirtem Terpentinöl benetzt und darauf auf einander gerieben wurden, um die adhärende Luft zu beseitigen. Die so vereinigten Platten wurden zwischen zwei Platten aus vulkanisirtem Kautschuck gelegt, und mit einer zehn Pfund schweren Metallplatte belastet. Zur Bestimmung der Ladung zwischen den Belegungen einer einzelnen Glasplatte, wurde dieselbe mit einer zweiten, auf gewöhnliche Weise auf dem Glase befestigten, Belegung versehen.

Tabelle IV.

1. Plat- tenzahl <i>m</i>	2. α	3. $\sin \alpha$	4. $\sin \alpha - \frac{\sin 0,5^\circ}{2}$	5. $\left[\sin \alpha - \frac{\sin 0,5^\circ}{2} \right] m$	6. Diffe- renzen.
I	35,8	0,5850	0,5807	0,58	— 0,02
II	17,3	0,2974	0,2931	0,58	— 0,02
III	11,8	0,2044	0,2001	0,60	0,00
IV	8,9	0,1547	0,1504	0,60	0,00
V	7,1	0,1221	0,1178	0,59	— 0,01
VI	6,2	0,1079	0,1036	0,62	+ 0,02
VII	5,5	0,0958	0,0915	0,64	+ 0,04

Die erste Columne der obigen Tabelle giebt die Zahl *m* der Glasplatten an, welche zwischen den vertheilend auf einander wirkenden Belegungen sich befanden, α ist der gemessene Ablenkungswinkel der Sinusbusssole. Eine einzelne isolirte Belegung gab die Ablenkung 0,5. Wie schon erläutert, mußte die Hälfte des Sinus dieses Winkels von $\sin \alpha$ abgezogen werden. Columne 5 ergibt, daß die Ladung umgekehrt proportional der Anzahl der Glasplatten, mithin der Dicke der isolirenden Schicht ist. Die Differenzen übersteigen die Gränze der mit den benutzten Hilfsmitteln zu erreichenden Genauigkeit nicht. Die geringe Vergrößerung derselben bei dickerem Glase deutet jedoch auf eine Verstärkung der Ladung der Kanten der Belegungen hin, wie sie eintreten muß, wenn eine Molecularvertheilung nach Faraday's Annahme, vorhanden ist.

Die nachfolgende Versuchsreihe wurde mit 6 Platten

aus möglichst gleichförmig gewalzter Gutta-Percha ange stellt, welche mit Stanniolbelegungen auf beiden Seiten versehen waren. Diese Platten wurden so auf einander geschichtet, daß die sämtlichen Stanniolbelegungen genau über einander lagen. Zwischen je zwei Platten ward ein hervorragender Streifen Stanniol gelegt, welcher dazu diente, die leitende Verbindung mit den betreffenden Be legungen herzustellen. Durch eine Handpresse wurden die Platten darauf fest zwischen zwei ebenen Brettern und elastischen Kautschuckplatten zusammengepresst, und in die sem Zustande die Messungen vorgenommen. Es ward zu erst die Ladung zwischen je zwei benachbarten Belegun gen gemessen und darauf die Ladung zwischen der ersten und allen übrigen der Reihe nach.

Tabelle V.

No. der belegten Gutta-Percha-Platten	1	2	3	4	5	6
Ablenkung der Nadel	19,5	19,5	19,3	19,9	19,1	18,3

Tabelle VI.

Ladung zwischen d. Belegungen m	α	$\sin \alpha$	$\sin \alpha - \frac{\sin 0,9}{2}$	$\left[\sin \alpha - \frac{\sin 0,9}{2} \right] m$	Diffe renzen
1 u. 2	19,8	0,3386	0,3308	0,33	- 0,05
1 u. 3	10,9	0,1891	0,1813	0,36	- 0,02
1 u. 4	7,5	0,1305	0,1227	0,37	- 0,01
1 u. 5	6,5	0,1045	0,0976	0,38	+ 0,01
1 u. 6	5,0	0,0872	0,0794	0,40	+ 0,02
1 u. 7	4,3	0,0750	0,0672	0,40	+ 0,02

Aus der ersten Tabelle (V) ergibt sich, daß die Capacität der aus 6 Gutta-Percha-Platten gebildeten Ansamm lungsapparate ziemlich gleich war. Nur die sechste Platte gab eine bemerkenswerth geringere Ladung. Die gemes sene Ladung einer einzelnen Belegung gab $0,9^\circ$, es ward daher in Tabelle VI $\frac{\sin 0,9}{2}$ vom Sinus des gemessenen Win-

kels α abgezogen. In der vorletzten Columnne sind die Producte dieses berichtigten Maasses der Ladung mit der Zahl der zwischen den wirksamen Belegungen befindlichen Gutta-Percha-Platten, und in der letzten Columnne ihre Differenzen verzeichnet. Es stellt sich hier noch deutlicher wie bei den Versuchen mit Glasplatten eine geringe Vermehrung der Differenzen mit dem Abstände der Condensatorplatten heraus, welche sich durch Molecularwirkung der elektrostatischen Induction in krummen Linien zwischen den Kanten der Belegungen vollständig erklärt.

Eine der wichtigsten Fragen, deren Beantwortung auch die Frage der Existenz der Vertheilung in krummen Linien entscheidet, ist die des Einflusses der isolirenden Materie, welche den die beiden Condensatorplatten trennenden Raum erfüllt, auf die Grösse der elektrostatischen Induction. Dafs die Capacität eines Ansammlungsapparates wesentlich von dem Stoff des trennenden Isolators abhängig ist, ist durch Faraday's, auch anderweitig bestätigte Untersuchungen, aufser Zweifel gesetzt. Dagegen entschieden die bisherigen Versuche nicht darüber, ob die von Faraday aufgestellte Ansicht, dafs die elektrostatische Induction *ausschliesslich* eine von Molecül zu Molecül des trennenden Isolators fortgepflanzte Wirkung ist, richtig ist, oder ob vielmehr der Einfluss des isolirenden Materials ein secundärer ist, vielleicht auch directe Vertheilung und Molecularvertheilung gleichzeitig auftreten. Dafs in der That ein Eindringen der Elektricität der Belegungen einer Leydener Flasche in die Substanz des Glases stattfindet, und dadurch die Entfernung der sich gegenseitig anziehenden Elektricitäten von einander vermindert wird, ist vielfach nachgewiesen, und folgt auch schon daraus, dafs eine vollständig entladene Flasche, die vorher längere Zeit geladen war, sich nach kurzer Zeit wiederum geladen zeigt. Es fragt sich daher ob:

1. Der Einfluss des, den trennenden Raum erfüllenden, isolirenden Materials sich auch dann noch zeigt, wenn das Eindringen der Elektricität in die Masse desselben ver-

hindert, oder der Versuch so angestellt ist, daß es auf das Resultat der Messung keinen Einfluß äußern kann. Ferner wenn dies der Fall ist, ob:

2. Die elektrostatische Induction überall dem Gesetze der Molecularanziehung, oder ganz oder theilweise dem der Anziehung in Distanz folgt.

Versuche mit Volta-Elektricität scheinen mir besonders geeignet zur Beantwortung dieser Fragen, da sie eine stets constante und unerschöpfliche Elektricitätsquelle darbietet, durch welche alle Messungen sehr vereinfacht werden. Die bisher beschriebenen Versuche werden dies, so wie auch die Zuverlässigkeit der Angaben des Galvanometers, wohl überzeugend nachgewiesen haben.

Daß auch bei Volta-Elektricität die Capacität eines Ansammlungsapparates wesentlich von der Beschaffenheit des Isolators, welcher den die Collectorplatten trennenden Raum erfüllt, abhängt, war leicht zu erkennen.

Wenn ich zwei runde, 15^{cm} im Durchmesser haltende, ebene Scheiben durch eine Glasplatte von 1^{mm} Dicke trennte, so zeigte das Galvanometer eine nahe doppelt so große Ladung an, wie dann, wenn ich anstatt der Glasplatte kleine Glasstücke von gleicher Dicke zwischen die Scheiben legte. Diese Verstärkung der Ladung trat in gleichem Grade bei Anwendung starker und schwacher Ketten auf, war also unabhängig von der wirksamen elektrischen Kraft¹⁾ der Batterie.

Da die Tiefe des etwaigen Eindringens der Elektricität in der durch die Wippe gegebenen Zeit, jedenfalls von der Größe der wirksamen Kraft abhängig seyn mußte, so ließ sich hieraus schon der Schluß ziehen, daß in ihr nicht

1) Ich habe vorgezogen, statt »elektromotorische Kraft« den Ausdruck »elektrische Kraft« zu gebrauchen, da es sich bei den vorliegenden Versuchen nur um die elektroskopische oder Spannkraft der Elektricität des Batteriepol's handelt, nicht wie bei rein galvanischen Erscheinungen um das Resultat dieser Kraft, d. i. den elektrischen Strom. Der Ausdruck Dichtigkeit der Elektricität hat eine wesentlich verschiedene Bedeutung und kann hier nicht benutzt werden.

der Grund der beobachteten Vergrößerung der Ladung zu suchen sey. Noch unzweifelhafter tritt dieß bei folgendem Versuche hervor.

Ich liefs mir eine Leydener Flasche aus zwei in einander gesetzten Glascylindern anfertigen. Der innere war 0,57^m hoch und hatte 0,18^{cm} inneren Durchmesser. Der äufsere war ebenso hoch und hatte 0,20^m äufseren Durchmesser. Der concentrische Zwischenraum zwischen beiden Cylindern war etwa 15^{mm} dick. Die Glasstärke jedes Cylinders durchschnittlich 2,45^{mm}. Die Cylinder wurden mit Colophoniumkitt auf einem Brette befestigt, und der Boden im Innern 1" hoch mit geschmolzenem Kitt übergossen. Die innere und äufsere Fläche des Doppelcylinders wurden mit Stanniol bis auf $\frac{1}{2}$ dm vom oberen und unteren Rande, belegt, und die frei gebliebenen Ränder auf gewohnte Weise mit isolirendem Lack überzogen. Es wurde nun die Ladung der Flasche unter sonst gleichen Verhältnissen gemessen, wenn der Raum zwischen den Cylindern mit Luft, und wenn er ganz oder theilweise mit einem andern isolirenden Material angefüllt war. Fände nun auch ein Eindringen der Elektrizität in das Glas statt, durch welches die Ladung merklich vergrößert würde, so könnte doch dieß Eindringen unmöglich den in der Mitte des dicken und schon bei einfacher Glasstärke isolirenden Glases befindlichen Isolator erreichen. Demohngeachtet ergab sich eine beträchtliche Vermehrung der Ladung, wenn ein fester Isolator z. B. ein Cylinder von Kautschuck oder vollständig isolirender Gutta - Percha zwischen die Glaswände geschoben ward. Man kann diesen sehr entscheidenden Versuch auch einfacher und mit gleichem Erfolge mit zwei Glasplatten anstellen, welche einseitig belegt und in solcher Entfernung von einander aufgestellt sind, daß man eine dritte Glasplatte zwischen sie einschieben kann, ohne den Abstand der Belegungen von einander zu ändern.

Zur Bestimmung des Vertheilungscoëfficienten verschiedener Isolatoren war das beschriebene Verfahren nicht

geeignet. Ich erhielt aber ziemlich constante Messungen auf folgende Weise: Zwei ebene runde Messingplatten von 15^{cm} Durchmesser wurden genau auf einander geschliffen. Durch drei Schrauben mit feinem Gewinde, welche durch die eine (obere) der Scheiben gingen, ließen sich dieselben beliebig von einander entfernen. Die Enden der Schrauben waren mit eingesprengten Steinen versehen, und hierdurch die Scheiben von einander isolirt. Ich stellte nun diese Scheiben unter den Recipienten einer Luftpumpe. Die untere ward mit dem metallenen Teller der Luftpumpe, die obere mit einem isolirt durch den Teller geführten Draht in leitende Verbindung gesetzt. Nachdem ich nun die Verbindung mit der Wippe hergestellt, und die Ablenkung der Nadel beobachtet hatte, pumpte ich die Luft bis auf zwei Linien des Quecksilber-Manometers aus. Der Stand der Nadel veränderte sich dadurch nicht im Geringsten. Eben so wenig war eine Aenderung desselben zu bemerken, wenn der Recipient der Luftpumpe mit Kohlensäure oder Wasserstoffgas gefüllt wurde. Es bestätigt sich *dadurch vollkommen*, daß „*Gase jeder Art und Dichtigkeit ein gleiches Vertheilungsvermögen haben.*“

Wie zu erwarten war, änderte sich auch der Stand der Nadel durch Erwärmung der Platten und der sie trennenden Luft nicht, wenn die Erbitzung nicht so weit getrieben wurde, daß die Platten sich verzogen. Ich gab nun den Platten des Condensators durch gleichmäßige Drehung der Schrauben einen parallelen Abstand von etwa 1^{mm}. Es wurde hierauf ein Gefäß mit flachem Boden 1 bis 1 $\frac{1}{2}$ hoch mit dem schmelzbaren Isolator angefüllt, welcher untersucht werden sollte, und die Masse langsam geschmolzen. Nachdem die Oberfläche derselben gut gereinigt war, ward erst die Gröfse der Ladung zwischen den beiden Scheiben in der Luft gemessen, und darauf beide nach einander so in die geschmolzene Masse getaucht, daß keine Luftblasen zwischen den Platten blieben. Das Verhältniß der gemessenen Ladungen gab die Vertheilungs-

Coëfficienten des geprüften Isolators. — Es ergab sich auf diese Weise für Stearin die Zahl 0,78, für Schwefel 2,9. Nach Erkaltung der Masse wurden diese Zahlen kleiner. Es konnte dies jedoch daher kommen, daß die obere Platte durch die Krystallisation etwas gehoben wurde. Außerdem kann die für den Vertheilungscoëfficienten des Schwefels gefundene Zahl dadurch etwas größer ausgefallen seyn, daß die Messingplatte sich mit einer dünnen Schicht leitenden Schwefelkupfers überzog.

Mit größerer Genauigkeit prüfte ich die Vertheilungsfähigkeit der Gutta-Percha und des Glases. Ich verfuhr dabei folgendermaßen. Eine ebene kreisrunde Gutta-Percha-Platte ward auf die untere Condensatorplatte gelegt, nachdem sie mit drei Löchern versehen war, durch welche die Schrauben der oberen Platte hindurchgingen. Nachdem die letztere nun fest auf die Gutta-Percha-Platte gedrückt und durch ein 10 Pfund schweres Gewicht belastet war, wurden die Schrauben so lange gedreht, bis ihre Steinspitzen die untere Scheibe berührten. Nachdem die Ablenkung der Nadel beobachtet war, ward die Platte aufgehoben, die Gutta-Percha-Platte entfernt und darauf die Messung wiederholt. Aehnlich ward mit plangeschliffenen Glasplatten verfahren.

Als ich eine Glasplatte, welche mir eine unerwartete Ablenkung gab, erwärmte, um die vermuthete Feuchtigkeit von ihrer Oberfläche zu entfernen, war ich überrascht, eine beträchtliche Zunahme der Ablenkung zu finden. Bei der Erwärmung bis zum Schmelzpunkte des Zinnes war sie bis auf den zehnfachen Betrag gestiegen, und steigerte sich bei weiterer Erhitzung bis zum Schmelzpunkte des Bleies bis zum 30 fachen des ursprünglichen Betrages. Ward die obere Platte auf dem Glase etwas verschoben, so schlug die Nadel, welche ursprünglich eine Abweichung von 3° zeigte, an die Hemmung und ging sogleich darauf auf 30 bis 40 zurück. Ich war anfangs geneigt, hieraus auf eine Vergrößerung des Vertheilungsvermögens des Glases durch

die Erwärmung zu schliessen, überzeugte mich jedoch später, daß diese Erscheinung durch Elektrolyse der Glasmasse herbeigeführt wurde.

Es ist bereits durch die Untersuchungen von Buff und Beetz festgestellt, daß das Glas schon bei geringen Erhitzungen leitend wird. Die Ladungsströme mußten daher scheinbar größer werden, da das Galvanometer gleichzeitig die Stärke des durch das Glas gehenden Stromes angab. Die Entladungsströme mußten dagegen durch Leitung der Glasmasse geschwächt werden, da die Ladung sich nicht allein durch das Galvanometer, sondern auch noch durch die Glasmasse hindurch ausgleichen konnte. Die beobachtete große Verstärkung der Entladungsströme scheint daher nur in der elektrolytischen Ausscheidung von metallischem Kalium oder Natrium an der als negative Anode auftretenden Belegung gesucht werden zu können. Ein ganz ähnliches Verhalten zeigte geschmolzenes Kochsalz und andere elektrolytische Salze. Es traten auch bei diesen sehr kräftige Polarisationserscheinungen auf, die noch fort dauerten, als die Salzmasse schon wieder ganz erstarrt war, und erst aufhörten, als sie vollständig abgekühlt war. Hartes Kaliglas begann bei etwa 40° C. schon leitend zu werden. Weiches weißes Natronglas noch viel früher. Ich fand bei einer solchen Glasplatte sogar bis -5° geringe Abnahme der Entladungsablenkung der Nadel. Bei Glimmerplatten war die Erwärmung ganz ohne Einfluß auf die Ladung, und die Isolirung blieb auch bei der größten anwendbaren Erhitzung noch vollkommen. Dagegen erhielt Gutta-Percha schon durch geringe Erwärmung eine beträchtliche Leitungsfähigkeit. Als ich einen mit Gutta-Percha bekleideten Kupferdraht von 5^{dm} Länge bis auf die freistehenden Enden in ein Gefäß mit kaltem Wasser tauchte, zeigte er sich vollkommen isolirt. Tauchte ich ihn dagegen in Wasser, welches etwa 40° C. warm war, so zeigte das Galvanometer kurz darauf eine Ablenkung von 6° , welche gänzlich wieder

verschwand, wenn das warme Wasser wieder durch kaltes ersetzt wurde. Die Vergrößerung der Ladungsströme war dagegen hier sehr viel schwächer, wie bei erwärmten Glas tafeln, was sich dadurch erklärt, daß Kalium und Natrium viel höher in der elektrischen Spannungsreihe stehen wie Wasserstoff.

Es scheint mir nach diesen Versuchen wahrscheinlich, daß alle diejenigen elektrolytischen starren Körper, welche im geschmolzenen Zustande die Elektrizität leiten, ihre Isolirungsfähigkeit schon im starren Zustande verlieren, wenn sie sich ihrem Schmelzpunkte nähern, und daß sie desto bessere Isolatoren sind, je weiter ihre Temperatur unter der ihres Schmelzpunktes steht.

Die bisherigen Versuche werden keinen Zweifel mehr darüber zulassen, daß der Einfluß des isolirenden Materials auf die GröÙe der elektrostatischen Induction auch bei Elektrizität sehr geringer Spannung besteht und daß derselbe nicht durch das Eindringen der Elektrizität in die Masse des Isolators zu erklären ist. Diefß vorausgesetzt kann man die beträchtliche Vergrößerung der Vertheilungs- oder Influenz-Elektrizität durch die Anwendung starrer Isolatoren kaum anders erklären als durch Annahme der Faraday'schen Hypothese der Molecularinduction. Es ist nun wohl denkbar, daß neben der Vertheilung durch Molecularinduction auch noch die directe Vertheilung durch unmittelbare Fernwirkung existirt. Um darüber Aufklärung zu erhalten, legte ich mehrere 1^{mm} dicke belegte Glasplatten auf einander und verband die untere mit der Ableitung zur Erde. Wurde nach der in Fig. 5 Taf. II angegebenen Schaltung verbunden, so gab die dauernde Ablenkung der Nadel das Maafß der Ladung des Condensators. Ward anstatt der zweiten die dritte Belegung mit der Wippe verbunden, so war die Ladung etwa halb so stark wie schon aus den früher mitgetheilten Versuchen folgt. Ich verband jetzt sowohl die zweite wie die dritte Belegung mit der Zunge der Wippe. Da jetzt beide Belegungen

elektrisch waren, so mußte die Ablenkung größer werden wenn die dritte Belegung, durch die zweite hindurch, einen vertheilenden Einfluß auf die natürliche Elektrizität der abgeleiteten Belegung ausübte. Diefes fand aber durchaus nicht statt. Selbst als 5 Belegungen mit der Zunge der Wippe verbunden waren, blieb die Ablenkung genau so groß, wie bei einer Belegung.

Ich bemerke noch, daß ich die zweite Belegung etwas größer gemacht hatte, wie die übrigen. War dies nicht der Fall, so erhielt ich eine geringe Vergrößerung der Ablenkung, die sich durch Vertheilung in krummen Linien leicht erklärt.

Dasselbe Resultat erhielt ich, als ich 3 Flaschen, welche aufsen und innen mit Stanniolbelegungen versehen waren, in einander setzte. War die äußere Belegung abgeleitet, so erhielt ich genau dieselbe Ladung, wenn die nächste Belegung allein oder wenn gleichzeitig die beiden übrigen mit der Zunge der Wippe verbunden waren. Es beweist dies jedenfalls, daß die vertheilende Kraft nicht durch einen gleich stark elektrisirten Leiter hindurch wirkt und macht es sehr wahrscheinlich, daß die unmittelbare Vertheilung, wenn sie vorhanden ist, gegen die Molecularvertheilung verschwindend klein ist.

Die bisher erlangten Resultate lehren, daß die Quantität Q der Elektrizität, welche ein aus zwei parallel gegenüberstehenden, ebenen Platten von gleicher Größe gebildeter Ansammlungsapparat aufnimmt, direct proportional ist der elektrischen Kraft E der Batterie, direct proportional der Größe F der gegenüberstehenden Flächen, umgekehrt proportional der Dicke d der isolirenden Schicht und direct proportional einer Constante k , welche von der Materie des benutzten Isolators abhängt. Es ist mithin die Ladung oder:

$$(1) \quad Q = E \cdot \frac{Fk}{d}$$

mit der Beschränkung, daß d gegen F sehr klein sey,

oder eine Correctur ausgeführt werden muß, welche den Einfluß der wahrscheinlichen Vertheilung in krummen Linien zwischen den Kanten der Belegungen und um sie herum compensirt. Der Anblick dieser Gleichung zeigt eine vollkommene Uebereinstimmung mit dem Gesetz der Bewegung der Wärme und der Elektrizität durch Leiter. Denkt man sich den Isolator als Leiter, die Fläche F , die Zuleitungsdrähte und die Kette selbst als widerstandslos, so würde die Stromstärke

$$J = E \cdot \frac{F \cdot \lambda}{d}$$

seyn, wenn λ den Coëfficienten der Leitungsfähigkeit des Materials der die Flächen F trennenden Platte bezeichnet. Man kann sich hiernach die Ladung als durch einen Strom von sehr kurzer Dauer durch die Masse des Isolators hindurch, entstanden vorstellen, und der obigen Gleichung die Form

$$Q = \frac{E}{V}$$

geben, wenn man unter V den Ausdruck $\frac{d}{FK}$ versteht, für welchen ich die Bezeichnung *Vertheilungswiderstand* vorschlage, da er dem Leitungswiderstande des die Vertheilung vermittelnden Raumes ganz analog ist.

Ist die elektrostatische Induction *ausschließlich* eine Molecularwirkung, wie es nach den bisherigen Resultaten wenigstens als wahrscheinlich erscheinen muß, so muß die Gleichung $Q = \frac{E}{V}$, deren Richtigkeit bisher nur für den einen Fall experimentell nachgewiesen ist, wenn der Ansammlungsapparat aus zwei parallelen Flächen besteht, deren Abstand gegen die Dimensionen der Collectorplatten sehr klein ist, allgemein gültig seyn. Als erste Prüfung schien mir die Anwendung der Formel auf die Franklin'sche oder Cascaden-Batterie besonders geeignet.

Werden die gemessenen Ladungen einer Zahl von Ansammlungsapparaten verschiedener Capacität mit q , q' ,

q'' etc. und die Vertheilungswiderstände derselben mit v , c' , v'' etc. bezeichnet, so ist nach dem aufgestellten Vertheilungsgesetze

$$q = \frac{E}{v}$$

$$q' = \frac{E}{v'}$$

$$q'' = \frac{E}{v''}$$

und hieraus

$$v = \frac{E}{q}$$

$$v' = \frac{E}{q'}$$

$$v'' = \frac{E}{q''}.$$

Bezeichnet ferner Q die Ladung der als Cascaden-Batterie verbundenen Collectoren und V den zugehörigen Vertheilungswiderstand dieser Batterie, so ist ferner

$$Q = \frac{E}{V}$$

und

$$V = \frac{E}{Q}.$$

Der Vertheilungswiderstand sämtlicher Collectoren besteht nun aus der Summe der Widerstände der einzelnen. Es ist mithin

$$V = v + v' + v'' \text{ etc.}$$

$$(3) \quad \frac{1}{Q} = \frac{1}{q} + \frac{1}{q'} + \frac{1}{q''} \text{ etc.}$$

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{q} + \frac{1}{q'} + \frac{1}{q''}} \text{ etc.}$$

Zur Prüfung der Richtigkeit dieser Formel für die Ladung der Cascaden-Batterie, liefs ich drei meiner Glastafeln von 1^{mm} Dicke mit Belegungen verschiedener Gröfse versehen. Die mit I bezeichnete Tafel erhielt auf beiden Seiten Belegungen, welche ein Quadrat von 20^{cm} Seitenlänge bildeten und sich genau gegenüberstanden. Die

Belegungen der Tafel II hatte 14, die der Tafel III 10^{cm} Seitenlänge. Es wurde zuerst die Ladung der einzelnen Collectoren, dann die verschiedener aus denselben gebildeten Cascaden-Batterien gemessen.

Die Tabelle VII B zeigt Versuche mit 3 andern Tafeln von 20, 18 und 15^{cm} Seitenlänge.

Tabelle VII. A.

1. Bezeichnung des Collectors	2. Beobachtete Ablenkung α	3. $\sin \alpha = Q$ beobachtet	4. berechnet	5. Differenzen.
I	36,8	0,599		
II	18,1	0,309		
III	9,7	0,168		
I u. II	12,5	0,216	0,20	0,01
I u. III	8,4	0,146	0,13	0,01
II u. III	7,0	0,122	0,11	0,01
I, II u. III	6,4	0,111	0,09	0,02

Tabelle VII. B.

1. Bezeichnung des Collectors	2. Beobachtete Ablenkung α	3. $\sin \alpha = Q$ beobachtet	4. berechnet	5. Differenzen.
I	20	0,342		
II	15,3	0,263		
III	9,6	0,166		
I u. II	8,2	0,142	0,140	0,002
I u. III	6,5	0,113	0,112	0,001
II u. III	5,8	0,101	0,097	0,004
I, II u. III	4,6	0,080	0,076	0,004

Columnne 1 bezeichnet die, einzeln oder cascadenförmig combinirt geladenen, Collectoren. Columnne 3 giebt die beobachtete Flaschenladung q der einzelnen Collectoren und die beobachtete Gesamtladung der combinirten Batterien an. Columnne 4 enthält die nach der Formel

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{q} + \frac{1}{q'} + \frac{1}{q''} + \dots}$$

berechneten Ladungen der combinirten Batterien. Die Differenzen sind nicht allein durch Beobachtungsfehler zu erklären. Die berechneten Werthe sind sämmtlich etwas kleiner wie die beobachteten, und zwar um so mehr, je mehr Collectoren combinirt waren. Es erklärt sich dies leicht daraus, daß die Ladung zwischen den Belegungen und den Zimmerwänden nicht in Rechnung gezogen werden konnte.

Die Messung der Ladung von Condensatoren mit Belegungen verschiedener Größe, giebt Gelegenheit den bisher noch unvollständig gelassenen Nachweis zu führen, daß die Ladung zweier Condensatoren von gleicher Glasdicke proportional der Größe der Flächen ist, welche sich gegenüberstehen, vorausgesetzt, daß der Einfluß der Vertheilung in krummen Linien an den Kanten berücksichtigt wird.

Tabelle VIII.

Bezeichnung des Collectors	Ablenkung α	$\sin \alpha$	Fläche in \square cm F	$\frac{\sin \alpha}{F}$	Differenzen.
I	20	0,3420	400	85	5
II	15,3	0,2638	324	81	1
III	9,6	0,1666	225	74	6
Mittel				80	
IV	36,8	0,5990	400	15	1
V	18,1	0,3099	196	16	0
VI	9,7	0,1684	100	17	1
Mittel				16	

Columnne 5 der vorstehenden Tabelle enthält für 6 Collectoren von gleicher Glasdicke die Quotienten $\frac{Q}{F}$. Wie der Augenschein lehrt sind die Unterschiede dieser Werthe noch ziemlich bedeutend. Die Differenzen sind zwar ziemlich beträchtlich, doch durch die Ungleichförmigkeit der Glasplatten und namentlich die Vertheilung in krummen Linien zwischen den Kanten und zwischen den abgewendeten Flächen zu erklären.

Noch geeigneter als Plattendcollectoren sind die Bestätigung der aufgestellten Formel



$$Q = \frac{1}{\frac{1}{q} + \frac{1}{q'} + \frac{1}{q''} + \dots}$$

für die Ladung der Cascaden-Batterie, Leydener Flaschen verschiedener Größe und Flaschendrahte. In nachstehender Tabelle sind die mit solchen Batterien angestellten Versuche zusammengestellt.

Tabelle IX.

Bezeichnung der Flaschen	α	$Q = \sin \alpha$		Differenzen.
		beobachtet	berechnet	
I	21,2	0,3616	—	
II	11,8	0,2044	—	
I u. II	7,6	0,132	0,130	+ 0,002
III	24,4	0,4130	—	
IV	13,6	0,2350	—	
V	7,2	0,1253	—	
III u. IV	8,9	0,154	0,150	+ 0,004
III u. V	5,6	0,095	0,096	— 0,001
III, IV u. V	4,1	0,071	0,068	+ 0,003
VI	27,3	0,4586	—	
VII	14,9	0,2571	—	
VIII	7,9	0,1374	—	
VI u. VII	19,8	0,170	0,165	+ 0,005
VII u. VIII	5,3	0,092	0,089	+ 0,003
VI u. VIII	6,2	0,107	0,105	+ 0,002
VI, VII u. VIII	4,5	0,078	0,075	+ 0,003
A	14,4	0,2487	—	
B	11,0	0,1908	—	
A u. B	6,5	0,113	0,108	+ 0,005

Die durch Zwischenräume getrennten Versuche sind zu verschiedenen Zeiten angestellt; mithin nicht direct vergleichbar. Die berechneten Werthe sind, bis auf einen, etwas kleiner als die beobachteten, wie zu erwarten war, da die Ladung der Zuleitungsdrähte und der äußeren Belegungen der Flaschen mit den Zimmerwänden nicht berücksichtigt ist. Die Flaschen I bis VIII waren von ver-

schiedenster Form und Glasstärke. Es wurden die Cascaden-Batterien immer durch leitende Verbindung der äußeren Belegung der einen Flasche mit dem Knopfe der nächsten gebildet. Sämmtliche Flaschen standen getrennt von einander auf einer Unterlage von Kautschuckhorn. Die mit *A* und *B* bezeichneten Flaschen bestanden aus je 1^{mm} dicken 30^m langen Drähten, welche gleichzeitig mit Gutta-Percha umprefst waren. Der Querschnitt der Gutta-Percha bildete annähernd eine Ellipse. Die Axen der Kupferdrähte der Drahtflasche *A* waren 2,75^{mm} von einander entfernt, und die Durchmesser des Gutta-Percha-Ueberzuges waren 8 und 9^{mm}. Der Abstand der Drähte der Drahtflasche *B* war 4^{mm} und die Durchmesser der Gutta-Percha-Hülle 10 und 13^{mm}.

Ich habe derartige Doppeldrähte zu langen Unterseeleitungen in Vorschlag gebracht und werde später mehrfach auf dieselben zurückkommen.

Das Verhältniß der Ladung dieser Drahtflaschen kann zur weiteren Prüfung der Richtigkeit des Vertheilungsgesetzes dienen. Nach Kirchhoff ¹⁾ ist der Leitungswiderstand zwischen zwei Kreisen in einer unbegrenzten Ebene

$$W = C \cdot \log \frac{a}{r},$$

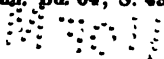
wenn *a* der Abstand der Mittelpunkte der Kreise, *r* der Radius derselben und *C* eine Constante ist. Dieselbe Formel muß nun auch für den Vertheilungswiderstand Anwendung finden, es muß mithin

$$\frac{\log \frac{a}{r}}{\log \frac{b}{r}} = \frac{\frac{1}{0,248}}{\frac{1}{0,191}} = \frac{0,191}{0,248} = 0,77 \text{ seyn,}$$

wenn *a* und *b* die Abstände der Drähte und *r* ihr Radius ist. Nach Substituierung der Zahlenwerthe erhält man:

$$\frac{\log \frac{a}{r}}{\log \frac{b}{r}} = \frac{\log \frac{2,75}{0,5}}{\frac{4}{0,5}} = 0,81.$$

1) Ann. Bd. 64, S. 497.



Die Gleichung ist mithin ziemlich vollständig erfüllt. Wenn man in Betracht zieht, daß die Drähte nicht vollständig parallel liegen, daß die Formel für den Leitungswiderstand nur eine Näherungsformel ist, und daß sie nur für den Fall der unbegrenzten Ebene von überall gleicher Leitungsfähigkeit gültig ist, was hier nicht Anwendung findet, da der Vertheilungswiderstand der Gutta-Percha nur etwa halb so groß ist wie der der Luft, so erscheint die Differenz der beobachteten und berechneten Werthe sogar auffallend gering.

In der nachstehenden Tabelle sind die Versuche zusammengestellt, welche ich über die Ladung von Flaschendrahtten verschiedener Dimensionen angestellt habe. Es waren dies Drahtenden aus verschiedenen Fabrikationsperioden, bei denen die Gutta-Percha theilweise schon durch Berührung mit der Luft etwas verändert war. Obgleich möglichst brauchbare Drähte ausgewählt wurden, so war die Concentricität des Drahtes und Ueberzuges doch bei allen mehr oder weniger unvollständig. Große Genauigkeit konnte mithin von diesen Versuchen nicht erwartet werden. Die Versuche wurden so angestellt, daß aus den zu untersuchenden Drähten Rollen von etwa 1 Fuß inneren Durchmessers gebildet, und diese in ein mit Wasser gefülltes metallenes Gefäß gelegt wurden. Das eine Drahtende ragte aus dem Wasser hervor, und das andere im Wasser befindliche war vorher durch Uinklebung mit erwärmter Gutta-Percha isolirt. Der Draht ward mit der Zunge der Wippe verbunden. Die leitende Verbindung mit dem Wasser ward durch das Metallgefäß bewirkt.

Tabelle X.

1. No.	2. l	3. r	4. R	5. α	6. $\sin \alpha = Q$	7. $\frac{Q}{l} \cdot \log \left(\frac{R}{r} \right)$
1	7,5	0,8	3,4	16,6	0,2856	0,024
2	5,5	0,8	2,1	16,3	0,2806	0,021
3	6	0,6	2,2	11,8	0,2044	0,019
4	6	0,8	2,2	15,3	0,2638	0,019
5	3,3	1,0	3,7	7,6	0,1322	0,022
6	7,6	0,8	2,1	25,2	0,4258	0,024
7	7,6	0,8	3,4	18,5	0,3189	0,025
8	2,9	1,0	2,5	5,5	0,0958	0,019
9	34,4	0,8	2,5	39,2	1,8960	0,027
10	7,5	0,8	3,4	19,1	0,3272	0,025
11	8,3	0,8	2,6	28,7	0,4802	0,027
12	2,9	1,0	3,8	5,6	0,0975	0,019
13	3,2	0,9	3,2	6,6	0,1149	0,018

Columnne 2 giebt die Länge l , Columnne 3 den Radius des metallischen Drahtes, Columnne 4 den Radius des überzogenen Drahtes. Columnne 6 enthält die gemessene Ladung und Columnne 7 die daraus berechnete Constante der später entwickelten Formel für die Ladung. Die durch einen Zwischenraum getrennten Versuche sind in verschiedenen Zeiten ausgeführt und nicht vergleichbar. Der Versuch No. 9 ward mit einem mit Blei umprefsten Draht von beträchtlicher Länge angestellt. Bei diesem bildete der Draht die innere, das Blei die äußere Belegung der Flasche. Da die Ladung dieses Drahtes durch die zu den übrigen Messungen benutzte Daniell'sche Batterie von 54 Zellen, nicht mehr gemessen werden konnte, so wurde eine Batterie von 18 Zellen benutzt, und der Sinus des gemessenen Winkels mit 3 multiplicirt. Die Differenzen sind zwar beträchtlich, doch durch die Beschaffenheit der untersuchten Drähte erklärlich.

Die Berechnung der Ladung der Flaschendrahte ist nach der Formel

$$Q = \frac{EC}{\log \frac{R}{r}}$$

ausgeführt.

Sie ergibt sich aus der Gleichung $Q = \frac{E}{V}$, wenn man sich die cylindrische Gutta-Percha-Hülle in eine sehr große Anzahl concentrischer Schichten getheilt denkt, und die Widerstände aller summirt.

Ist dx die Dicke eines solchen Hohlcyllinders vom Radius x , so ist der Widerstand derselben

$$dv = \frac{dx}{l \cdot 2\pi x k},$$

wenn k die Vertheilungsfähigkeit der Gutta-Percha bezeichnet.

Mithin

$$\begin{aligned} v &= \frac{1}{2l\pi k} \cdot \int_r^R \frac{dx}{x} \\ &= \frac{1}{2l\pi k} \cdot \log \frac{R}{r} \end{aligned}$$

und

$$(4) \quad Q = \frac{E}{V} = \frac{E \cdot 2l\pi \cdot k}{\log \frac{R}{r}}$$

oder wenn E unverändert bleibt

$$Q = C \cdot \frac{l}{\log \frac{R}{l}}$$

und

$$C = \frac{Q}{l} \cdot \log \frac{R}{r}.$$

Wenn auch die Uebereinstimmung der hiernach berechneten Constanten nicht befriedigend ist, so ergibt sich doch wenigstens mit Bestimmtheit daraus, daß die Vertheilung nicht dem Gesetze der directen Anziehung folgt.

1) Wm. Thomson hat auf anderem Wege für die Capacität der Längeneinheit eines Flaschendrahtes den Werth $\frac{k}{2 \log \pi \cdot \frac{R}{r}}$ gefunden. Da

nir bisher nur ein Auszug seiner Arbeit bekannt geworden ist, so vermag ich nicht anzugeben, weshalb die Constante ($\frac{1}{2}$ anstatt 2π) der Thomson'schen Formel von der meinigen verschieden ist.

Die Anziehung paralleler Linien, deren Länge unendlich oder wenigstens sehr groß gegen ihre Entfernung ist, steht in umgekehrtem Verhältniß ihrer Entfernung. Man kann sich nur den Mantel eines Cylinders, welcher einen dünnen Draht concentrisch umgiebt, in eine große Zahl schmaler Streifen zerlegt denken. Die Summe der Anziehung zwischen dem Draht und allen Streifen bildet die Summe der thätigen anziehenden Kräfte zwischen dem Cylinder-Mantel und dem Draht, und müßte das Maas der Vertheilungsgröße seyn, wenn diese eine Wirkung der Anziehung »in Distanz« wäre. Da sich nun ein Cylinder-mantel von doppeltem Durchmesser in doppelt so viele Streifen von gleicher Breite theilen läßt, von denen jeder mit halb so großer Kraft von der Axe angezogen wird, die Gesammtanziehung zwischen Axe und Mantel mithin unabhängig vom Durchmesser des Cylinders ist, so müßte auch die Ladung zwischen beiden es seyn, was offenbar nicht der Fall ist.

Die unvollständige Erfüllung der Gleichung

$$Q = E \frac{2l\pi k}{\log n \frac{R}{r}}$$

ist theils in excentrischer Lage des Drahtes in der Gutta-Percha, größtentheils aber darin zu suchen, daß die letztere selbst sehr verschiedenartig und bei vielen Drähten schon sehr zusammengetrocknet und verharzt war. Es bildete sich dadurch ein mit Luft erfüllter Zwischenraum zwischen Draht und Gutta-Percha. Einige Drähte waren mit geschwefelter Gutta-Percha bekleidet. Die dem Kupfer zunächst liegenden Schichten dieser Gutta-Percha waren durch Aufnahme von Schwefelkupfer leitend geworden, wodurch der wirksame Durchmesser des Drahtes etwas vergrößert wird. Genaue Zahlenangaben waren mithin hier nicht zu erwarten.

In der nachstehenden Tabelle habe ich einige Versuche zusammengestellt, deren unerwartete Resultate für mich die erste Veranlassung zu der vorliegenden Arbeit waren. Ich

hoffte die bei langen Unterseeleitungen so störenden Ladungen und die durch sie bewirkte Verzögerung des Stromes dadurch größtentheils zu beseitigen, daß ich anstatt einfacher Leitungen und Benutzung der Erde als Rückleitung oder als Reservoir, wenn man diesen Ausdruck vorzieht, Doppeldrähte anwendete, welche in einer gemeinschaftlichen Gutta-Percha-Hülle liegen und einen ganz metallischen Kreislauf bilden. Da in diesem Fall die beiden Drähte in gleicher Entfernung von der Batterie gleich und entgegengesetzt elektrisch werden, so glaubte ich die auf der Oberfläche der gemeinschaftlichen Gutta-Percha-Hülle auftretende Influenz-Elektricität müsse an allen denjenigen Punkten derselben gleich Null seyn, die gleichweit von den gleich und entgegengesetzt elektrisirten Drähten entfernt wären. Sie müßte dann an den übrigen Punkten proportional der *Differenz* der vertheilenden Wirkung der beiden Drähte, und die Ladung des ganzen Doppeldrahtes mithin sehr viel geringer seyn, wie die eines einfachen Drahtes. Der Versuch lehrt nun aber, daß dieß durchaus nicht der Fall ist. Es findet nicht nur keine Verminderung der Ladung im obigen Sinne statt, sondern im Gegentheil eine geringe Vergrößerung derselben.

Die Messungen der nachstehenden Tabelle sind mit den beschriebenen Doppeldrähten angestellt. Dieselben wurden in ein Gefäß mit Wasser getaucht, welches mit der Erde in leitender Verbindung war. Das eine Ende sämtlicher Drähte war durch Umklebung mit erwärmter Gutta-Percha sorgfältig isolirt, das andere ragte aus dem Wasser hervor.

Columnne 2 enthält die Zahl der Daniell'schen Zellen n , Columnne 3 die Bezeichnung der Drähte und der Verbindung derselben. Die Ueberschrift I in dieser Columnne bezeichnet den Doppeldraht mit 2,75^{mm} großem, II den mit 4^{mm} großem Abstand der Drähte von einander. Die arabischen Zahlen 1 und 2 bezeichnen die einzelnen Drähte eines Doppeldrahtes, das Zeichen + zwischen zwei Drähten bedeutet, daß die Ladung zwischen den durch sie

bezeichneten Drähten gemessen ist. Der Buchstabe T bezeichnet die Leitung zur Erde.

Durch $1 \div T$ ist mithin ausgedrückt, daß die Ladung zwischen Draht 1 und der äußeren leitenden und abgeleiteten Hülle der Gutta-Percha gemessen ist, $1 \div 2$ dagegen bedeutet, daß die durch Einschaltung der Batterie zwischen Draht 1 und Draht 2 ohne jede Ableitung zur Erde bewirkte Ladung, $(1+2) \div T$ endlich daß die Ladung zwischen den beiden verbundenen Drähten 1 und 2 und der Erde gemessen ist. Columnne 4 giebt die Ladung, Columnne 6 das Mittel aus beiden, auf die Ladung durch eine Zelle reducirten Messungen.

Tabelle XI.

1. No.	2. Zahl der Zellen n	3. Bezeich- nung und Schaltung d. Drähte	4. α	5. $\sin \alpha$	6. $C. \frac{\sin \alpha}{n}$
	I				
1	54	$1 \div T$	38,7	0,6252	115
2	18	do.	11,9	0,2062	
3	54	$(1+2) \div T$	70,5	0,9367	172
4	18	do.	18,2	0,3123	
5	54	$1 \div 2$	28,5	0,4772	86
6	18	do.	8,8	0,1529	
7	54	$1 \div (2+T)$	43,0	0,6820	125
8	18	do.	13,0	0,2250	
	II				
1	54	$1 \div T$	33,7	0,5518	101
2	18	do.	10,3	0,1787	
3	54	$(1+2) \div T$	59,0	0,8572	155
4	18	do.	16,0	0,2756	
5	54	$1 \div 2$	23,7	0,4019	72
6	18	do.	7,2	0,1253	
7	54	$1 \div (2+T)$	36,3	0,5919	106
8	18	do.	10,7	0,1856	

Da bei der Ladung $1 \div 2$ die Batterie direct zwischen

die beiden Drähte eingeschaltet wird, und keine Ableitung zur Erde existirt, so ist die elektrische Kraft beider Batteriepole gleich groß und halb so stark wie die elektrische Kraft des isolirten Pols derselben abgeleiteten Batterie. Die Ladung eines jeden Drahtes ist bei diesen Versuchen daher nur durch die halbe Zahl der angegebenen Zellen bewirkt. Diefes wird noch anschaulicher, wenn man sich die Batterie in der Mitte zur Erde abgeleitet vorstellt. Werden die beiden Drähte dann *gleichzeitig* mit den beiden freien, entgegengesetzt elektrischen Batteripolen verbunden, so muß die Ladung ganz eben so vor sich gehen, wie im vorliegenden Falle. Um die Ladungen der verschiedenen Combinationen vergleichen zu können, müssen daher die Ladungen $1 \div 2$ verdoppelt werden. Da diese Zahl größer wird, wie die Ladung $1 \div T$ desselben Doppeldrahtes, so folgt daraus, daß keine Verminderung, sondern eine Vergrößerung der Ladung durch die Combination $1 \div 2$ herbeigeführt ist. Nach der Molecularvertheilungstheorie ist dies auch ganz richtig. Jeder Punkt der kleinen Axe der Ellipse, welche ein Querschnitt der Gutta-Percha bildet, ist gleichweit von den beiden gleich und entgegengesetzt elektrischen Drähten entfernt. Für den elektrischen Strom zwischen diesen Drähten, ist die durch alle kleinen Axen gelegte Ebene daher als *vollkommen abgeleitet zu betrachten*, da nach dem Ohm'schen Spannungsgesetze die elektrische Kraft in der ganzen Ebene gleich 0 wird. Hieraus folgt unmittelbar, daß der Strom zwischen den beiden Drähten stärker seyn müsse, wie zwischen einem Draht und der Peripherie der Gutta-Percha, wenn in beiden Fällen in den Drähten gleiche elektrische Kräfte auftreten. Nach dem aufgestellten Widerstandsgesetze der elektrostatischen Vertheilung, muß nun dasselbe auch für die Ladung gelten.

Ich zweifle nicht daran, daß es einem geübtern Mathematiker gelingen wird, die Richtigkeit des aufgestellten Vertheilungsgesetzes an allen in der Tabelle aufgeführten Messungen noch zu erweisen. Ich habe sie zu dem Zwecke und weil ich im zweiten die Verzögerung des Stromes

durch die Ladung behandelnden Theile dieser Arbeit auf diese Messungen zurückkommen werde, hier vollständig mitgetheilt.

Schon vor einigen Jahren habe ich gefunden, daß auch lange völlig isolirte oberirdische Telegraphenlinien durch die galvanische Batterie geladen werden. Es ist mir sogar mehrfach gelungen, durch die GröÙe des Entladungsstromes die Lage des Ortes zu bestimmen, wo die Leitung zerrissen war. Zur genaueren Bestimmung der Capacität des aus einem oberirdischen Telegraphendrahte, und dem Erdboden gebildeten Ansammlungsapparates, lieÙ ich auf meinem Hofe einen Eisendraht von zwei englischen Linien Stärke und 120,85^m Länge aufhängen. Der Draht war in einem großen Bogen ausgespannt, und befand sich in einer durchschnittlichen Höhe von 8^m über dem Erdboden. Die Befestigungspunkte waren sorgfältig isolirt, und das eine Ende direct zu meinem Instrumente geführt. Ich verglich nun die Ladung dieses Drahtes mit der eines Platten-Condensators von 1^{mm} Glasdicke und 2,25 □^{dm} Belegfläche. Ich erhielt folgendes Resultat:

Tabelle XII.

Zahl d. Zellen <i>n</i>	Bezeichnung des Collectors	α	$\sin \alpha$	$\frac{\sin \alpha}{n} \cdot c$	Mittel
18	Eisendraht	2,2	0,0383	2127	2138
36	»	4,4	0,0767	2130	
54	»	6,7	0,1166	2159	
18	Condensator	3	0,0523	2905	2948
36	»	6,1	0,1062	2950	
54	»	9,3	0,1615	2990	

Hiernach hat ein oberirdischer Telegraphendraht von 1^m Länge dieselbe Flaschen Capacität wie eine 1^{mm} dicke Glastafel mit 100 □^{mm} oder 0,00001 □^m Belegfläche oder eine deutsche Meile Leitung entspricht einer Flasche von 1^{mm} Glasdicke und etwa 7,7 □ Fufs innerer Belegung.

Obschon die Höhe des Drahtes über dem Erdboden be-

trächtlich größer war, wie bei Telegraphenleitungen gebräuchlich ist, so wird doch die Flaschencapacität bei diesen nicht viel größer seyn, da die Capacität meines Drahtes, durch hohe Gebäude und Bäume, welche in seiner Umgebung standen, nicht unwesentlich erhöht ist, und da überhaupt der Vertheilungswiderstand mit der größeren Entfernung vom Boden nur wenig, d. i. im Verhältniß der Logarithmen der doppelten Höhe wächst, wenn dieselbe groß ist im Verhältniß zum Durchmesser des Drahtes. Man kann nämlich den Vertheilungswiderstand zwischen Draht und Erde nach der Kirchhoff'schen Widerstandsformel durch

$$\frac{C \cdot \log \frac{2h}{r}}{2}$$

ausdrücken, wenn h den Abstand des Drahtes von der Erde bezeichnet, woraus sich die Richtigkeit der obigen Annahme herleitet.

Von großer Wichtigkeit ist die nachgewiesene nicht unbedeutende Ladung der in der freien Luft ausgespannten Drähte bei Beurtheilung der Resultate der Geschwindigkeitsmessung der Elektricität. Da ich den großen verzögernden Einfluß der Ladung der Flaschendrähte auf die Strombildung in den entfernten Theilen derselben, später ausführlich behandeln werde, so genügt es hier nur darauf aufmerksam zu machen, daß die Verzögerung des Stromes in Flaschendrähren im Verhältnisse der Quadrate der Länge der Drähte steht. Es folgt dies schon aus der Betrachtung, daß die Zeit, welche nothwendig ist, um die in irgend einem Stücke des Drahtes zurückbleibende und zur Ladung desselben nach Maßgabe der ihm nach dem Ohm'schen Gesetz zukommenden »elektroskopischen Kraft« verwendeten Elektricitätsmenge an Ort und Stelle zu schaffen, sich direct wie die Elektricitätsmenge und umgekehrt wie der von ihr zu überwindende Widerstand verhalten muß. Da nun bei einem doppelt so langen Drahte sowohl die Quantität der in statische Anordnung übergehenden Elek-

tricität, wie auch der mittlere zu überwindende Widerstand doppelt so groß ist, so folgt daraus unmittelbar, daß die Ladungszeit, nach deren vollständigem Verlauf der Strom am Ende des Drahtes erst auftreten kann, viermal so groß werden, mithin im *Verhältniß der Quadrate der Drahtlängen stehen muß*. Die ausgeführten Messungen der Geschwindigkeit der Elektricitätsverbreitung in Drähten haben nun die Summe der durch die Ladung und durch die Bewegungsgeschwindigkeit der Elektricität bedingten Zeitverluste gemessen, von denen der erstgenannte im Verhältniß der Quadrate, der zweite im einfachen Verhältnisse der Länge der benutzten Drähte steht. Es erklären sich hierdurch die großen Verschiedenheiten der Zahlenangaben für die Geschwindigkeit. Sie mußten um so größer ausfallen, je kürzer und dünner die Drähte waren, mit denen experimentirt wurde. Außerdem ist es klar, daß die wirkliche Geschwindigkeit der Elektricität sehr viel größer seyn muß, wie die gemessenen Werthe, vorausgesetzt natürlich die Richtigkeit der Messungen. Es scheint sogar wahrscheinlich, daß die beobachteten Zeitunterschiede nur der *Ladung* der Drähte zuzuschreiben sind.

Da es nicht möglich ist, Leitungen herzustellen, bei welchen keine Flaschenladung stattfindet, so behandelt die Frage der Geschwindigkeit der Stromverbreitung stets nur einen ideellen Fall, dessen Bedingungen sich nie erfüllen lassen. Der einzige Fall, in welchem die elektrostatische Induction auf die Umgebungen eines Drahtes in der That verschwindend klein ist, ist der, wenn derselbe spiralförmig aufgewunden ist, es tritt dann aber dafür die elektrostatische Induction der ungleich elektrischen Windungen auf sich selbst, und außerdem die elektrodynamische Induction auf, wodurch auch dieser Fall für Geschwindigkeitsmessungen unbrauchbar wird. Messungen der Bewegungsgeschwindigkeit der Elektricität selbst würden sich daher nur so ausführen lassen, daß man die Verzögerung des Stromes in verschiedenen Entfernungen von der Batterie mißt, und

aus der so gebildeten Reihe die Werthe für die Ladungszeit und die Geschwindigkeit der Elektricität ableitet.

Es führen diese Betrachtungen zu der Frage, worin die auf der Oberfläche der Conductoren angesammelte sogenannte freie Elektricität eigentlich besteht, und worin sie von der Ladungs- oder sogenannten »gebundenen« Elektricität verschieden ist.

Faraday hat bekanntlich die Ansicht aufgestellt, daß die sogenannte freie Elektricität, oder gebundene oder Flaschenelektricität identisch sind, und daß bei ersterer die Zimmerwände die äußere Belegung der Flasche bilden.

Das Vertheilungsgesetz bietet ein Mittel die Richtigkeit dieser Ansicht zu prüfen. Der Vertheilungswiderstand dV einer sehr dünnen Hohlkugel, deren Wandstärke gleich dx und deren Radius gleich x ist, ist

$$dV = \frac{dx}{4x^2\pi k}$$

unter k der Vertheilungscoefficient des Materials der Hohlkugel verstanden. Der Gesamtwiderstand aller auf einanderfolgenden Hohlkugeln ist dann

$$V = \frac{1}{4\pi k} \cdot \int \frac{dx}{x^2}.$$

Das Integral zwischen $x=R$ und $x=r$ genommen giebt

$$V = \frac{1}{4\pi k} \cdot \frac{R-r}{R \cdot r}.$$

Es ist also

$$Q = \frac{E}{V} = E \cdot 4\pi k \cdot \frac{Rr}{R-r}$$

und

$$(5) \quad \frac{Q}{E} = 4\pi k \cdot \frac{Rr}{R-r}.$$

Der Ausdruck $4\pi k \frac{Rr}{R-r}$ ist mithin die von Riefs sogenannte Verstärkungszahl der Flasche vom inneren Radius r und dem äußeren R , wofür man bei Kugelflaschen allgemein den Ausdruck Capacität gebrauchen kann.

Sind R und r sehr wenig verschieden und setzt man:

$$R - r = \delta$$

und

$$4r^2\pi = F,$$

so geht obige Gleichung in

$$\begin{aligned}\frac{Q}{E} &= \frac{4r^2\pi k}{\delta} \\ &= \frac{F}{\delta} \cdot k\end{aligned}$$

über, welche mit der von Poisson für den speciellen Fall, daß die Glasdicke gegen den Radius der kleinsten Krümmung sehr klein ist, entwickelten Formel identisch ist.

Ein in einem Zimmer von gewöhnlichen Dimensionen aufgestellter Conductor wird hinsichtlich der Capacität der Flasche, die er mit den Zimmerwänden und dem Fußboden bildet, ohne sehr großen Fehler als im Centrum einer Hohlkugel von 3^m Radius befindlich betrachtet werden können. Ist der Conductor eine Kugel von 0,15^m Durchmesser, so ist seine Capacität, da k hier gleich 1 ist, nach Gl. (5)

$$\frac{Q}{E} = 4 \cdot 3,14 \cdot \frac{3 \cdot 0,15}{3 - 0,15} = 1,98.$$

Die Capacität einer innen und außen belegten Glaskugel von 0,15^m innerem Durchmesser und 2^{mm} Glasdicke ist dagegen, wenn $k = 2$ gesetzt wird:

$$\frac{Q'}{E} = 4 \cdot 3,14 \cdot \frac{0,17 \cdot 0,15}{0,002} \cdot 2.$$

Das Verhältniß der Capacitäten beider Flaschen ist mithin:

$$1 : 160.$$

Versuche die ich mit einer inneren mit Spiegelbelegung versehenen Glaskugel anstellte, entsprachen diesem Verhältniß mit hinreichender Genauigkeit. Frei im Zimmer aufgehängt gab die Kugel mit einer abgeleiteten Batterie von 54 Daniell'schen Zellen eine Ablenkung von 0,3°, während dieselbe Kugel in Wasser eine Ablenkung von 52° gab. Bei der Unsicherheit der Abschätzung der mittleren Entfernung der Zimmerwände, so wie namentlich der

mittleren Dicke des Glases ist diese Uebereinstimmung grösser als erwartet werden konnte.

In statischer Anordnung auf der Oberfläche eines Körpers befindliche Elektrizität kann daher stets als gebunden, latent, oder durch entgegengesetzte Elektrizität auf anderen benachbarten Körpern beschäftigt, betrachtet werden, und ein Unterschied zwischen beiden Elektrizitätsarten ist nur im Standpunkte des Beobachters, ob in oder ausserhalb des thätigen *Dielectricums*, — zu finden.

Vergleicht man nach der Formel (5) die Ladung oder Elektrizitätsmenge Q und Q' zweier Kugelconductoren von verschiedener Grösse, so ist:

$$\begin{aligned} Q : Q' &= \frac{Rr}{R-r} : \frac{Rr'}{R-r'} \\ (6) \quad &= \frac{r}{R-r} : \frac{r'}{R-r'}. \end{aligned}$$

Die Elektrizitätsmenge, welche durch *gleiche elektrische Kräfte* auf zwei in gleichen Räumen befindliche Kugelconductoren von verschiedener Grösse angehäuft wird, verhält sich daher nicht wie die Oberfläche derselben, sondern die Flächeneinheit der kleinen Kugel enthält mehr Elektrizität, wie die der grossen, oder mit anderen Worten:

»Die Dichtigkeit der Elektrizität der kleinen Kugel ist grösser, als die Dichtigkeit der Elektrizität der grossen.«

Bezeichnet F die Oberfläche der Kugelconductoren, so ist $\frac{Q}{F} = d$ die Dichtigkeit.

Es ist dann:

$$d : d' = \frac{1}{(R-r)r} : \frac{1}{(R-r')r'}$$

und wenn R sehr gross gegen r ist:

$$(7) \quad d : d' = \frac{1}{r} : \frac{1}{r'}.$$

Die Dichtigkeiten zweier in sehr grossen Räumen befindlichen Kugelconductoren, welche so weit von einander entfernt sind, daß sie keine merkbare Influenz auf

einander ausüben, verhalten sich daher *umgekehrt wie die Durchmesser der Kugeln*.

Es erklärt sich dies dadurch, daß der Vertheilungswiderstand hauptsächlich, in den, den Kugeln zunächst liegenden Schichten des *Dielectricums* zu suchen ist. Je kleiner nun der Krümmungshalbmesser einer Fläche ist, desto schneller nehmen die auf einander folgenden concentrischen Schichten an Ausdehnung zu, mithin an Widerstand ab. Der auf die Flächeneinheit reducirte Vertheilungswiderstand ist daher bei der kleinen Kugel geringer, wie bei der großen, obschon der Abstand der Fläche der kleinen von der Umgränzung des Zimmers größer ist.

Ich habe noch nicht durch Versuche feststellen können, ob das durch die Gleichung (7) gegebene Verhältniß der Dichtigkeit der Elektrizität auf der Oberfläche kugelförmiger Conductoren von verschiedener Größe sich bestätigt. Ebenso wenig sind mir Versuche mit Reibungselektrizität bekannt, an denen direct geprüft werden könnte, ob dies Verhältniß mit dem Experiment übereinstimmt. Dagegen bietet der Ausdruck für die Ladung der Flaschendrahte hierzu sehr gute Anhaltspunkte. Nach Gleichung (4) ist:

$$Q = E \cdot 2l\pi k \cdot \frac{1}{\log \frac{R}{r}}.$$

Man kann sich nun einen im Zimmer ausgespannten Draht vom Radius r als von einem leitenden Cylindermantel umgeben denken, und die Elektrizitätsmenge Q gleich der Flaschenladung zwischen dem inneren und äußeren Cylinder nach dieser Formel bestimmen. Die Dichtigkeit d der Elektrizität auf der Oberfläche des inneren Cylinders ist dann:

$$d = \frac{Q}{2r \cdot \pi \cdot l}$$

d. i. die Elektrizitätsmenge dividirt durch die Fläche.

Es ist mithin

$$(8) \quad d = \frac{Q}{2r\pi l} = \frac{E}{r \log \frac{R}{r}}$$

Setzt man nun $R=5$ Fufs und substituirt für r nach einander die Radien $1''$, $\frac{1}{2}''$, $\frac{1}{12}''$, so erhält man:

$$\begin{aligned} d:d':d'' &= \frac{1}{1 \cdot \log \frac{5 \cdot 12}{1}} : \frac{1}{\frac{1}{2} \log \frac{5 \cdot 12}{\frac{1}{2}}} : \frac{1}{\frac{1}{12} \log \frac{5 \cdot 12}{\frac{1}{12}}} \\ &= \frac{1}{\log 60} : \frac{2}{\log 120} : \frac{12}{\log 720} \\ &= 1,14 : 2 : 8,8 \end{aligned}$$

In nachstehender Tabelle sind diese Werthe mit denen zusammengestellt, die Coulomb für die Dichtigkeit gleich dicker, durch Ansetzen an eine 8zöllige Kugel elektrisirter Drähte angiebt ¹⁾.

Tabelle XIII.

Durchmesser des Cylinders	Dichtigkeit		Differenzen.
	beobachtet durch Coulomb	berechnet	
2''	1,3	1,14	+ 0,16
$\frac{1}{2}$	2	2	0
$\frac{1}{12}$	9	8,8	+ 0,2

Die Berechnung stimmt mit der Beobachtung genauer wie zu erwarten überein, wenn man bedenkt, daß die Substitution eines cylindrischen und concentrischen Zimmers nur auf Schätzung beruht und weder der Einfluß der grösseren Dichtigkeit der Drahtenden, noch die Erschöpflichkeit der von Coulomb benutzten Elektrizitätsquelle, d. i. einer elektrisirten 8 zölligen Kugel in Rechnung gezogen ist.

Nach Gleichung 7 und 8 verhält sich die Dichtigkeit D der Kugel zu der Dichtigkeit d des angesetzten Gliedes:

$$\begin{aligned} D:d &= \frac{1}{r} : \frac{1}{r' \log \frac{R}{r}} \\ &= 1 : \frac{r}{r' \log \frac{R}{r}}. \end{aligned}$$

1) Riefs, Lehrbuch der Elektrizität Bd, I, S. 174.

Für r den Radius der von Coulomb benutzten 8zölligen Kugel, für r' den Cylinder-Radius 1 und für R wie oben 60 gesetzt, erhält man $D:d = 1:0,977$, während Coulomb das Verhältniß 1:1,28 fand. Es scheint hiernach R für Coulomb's Versuche zu groß gewählt zu seyn. Nimmt man für R 37 Zoll als die wahrscheinliche Entfernung seines Cylinders vom Fußboden, so erhält man

$$D:d = 1:1,12.$$

Je kleiner in der Formel

$$d = \frac{E}{r \log \frac{R}{r}}$$

der Radius r wird, desto kleiner wird der Nenner des Bruches, desto größer mithin die Dichtigkeit. Wird r verschwindend klein, so wird $d = \infty$. Hieraus folgt, *dass die Dichtigkeit der Elektricität einer vollkommenen Spitze unendlich groß wird.*

Es werden diese Beispiele ausreichend seyn, um zu zeigen, dass Faraday's Vermuthung, dass *freie* statische Elektricität, wo und in welcher Form sie auch auftritt, stets mittelst eines *Dielectricums* in materieller Wechselwirkung mit einer gleichen Quantität entgegengesetzter Elektricität steht, allem Anschein nach nicht mit Thatfachen — wenn auch mit manchen sehr sinnreichen und bisher allgemein anerkannten Theorien — in Widerspruch steht. Durch den Nachweis, dass die freie Elektricität und Flaschenelektricität als identisch betrachtet werden können, und dass die Anordnung der Elektricität auf der Oberfläche der Conductoren in einigen wichtigen Fällen auch bei Elektricität hoher Spannung durch das nothwendige Gesetz der Molecularvertheilung begründet wird, ist die Frage berechtigt, ob die statische Anordnung der Elektricität auf der Oberfläche der Leiter nicht *ausschließlich als Folge der Molecularvertheilung aufgefasst werden kann.*

Ich wage nicht diese wichtige Frage unbedingt zu bejahen, kann es auch nicht unternehmen, alle von der Form der Conductoren und ihrer gegenseitigen Influenz abhän-

gigen Dichtigkeitsverhältnisse als *durch das Gesetz der Molecularvertheilung bedingt*, nachzuweisen, da mich dieß weit über die Grenzen hinausführen würde, die ich der Ausdehnung der vorliegenden Arbeit stecken mußte, glaubte jedoch durch die mitgetheilten Resultate berechtigt zu seyn, diese Ansicht so lange für begründet zu erklären, bis der Nachweis des Gegentheils geführt ist.

Es ist nicht anzunehmen, daß zwei, von einander unabhängige Ursachen die Dichtigkeit der Elektrizität auf der Oberfläche der Körper bedingen, von denen jede in einzelnen Fällen nicht nur die ganze Erscheinung erklärt, sondern sogar *nothwendig bedingt*. Ist daher die Ansicht Faraday's, *daß die elektrostatische Induction oder Vertheilung ausschließlicly eine Molecularwirkung*, keine Folge der directen Anziehung und Abstosung der elektrischen Fluida ist, richtig — und nach den vorliegenden Versuchen scheint mir kaum noch ein Zweifel darüber zulässig — so ist dieselbe auch die Ursache der Verschiedenheit der Dichtigkeit der Elektrizität auf der Oberfläche leitender, elektrisirter Körper. Es kann daher die Kraft, mit welcher zwei elektrisirte Körper sich erfahrungsmäßig anziehen, resp. abstossen, nicht *gleichzeitig* die erste Ursache der ungleichen Verbreitung der Elektrizität auf der Oberfläche der Körper seyn, oder, mit anderen Worten: *Die Anziehung und Abstosung ist nicht eine Eigenschaft der elektrischen Fluida, sondern der elektrisirten Materie.*

Poisson begründet seine Berechnungen der Dichtigkeit der Elektrizität wesentlich auf die von ihm als nothwendig angenommene Bedingung, daß die Resultante aller anziehenden Wirkungen der auf der Oberfläche eines Körpers befindlichen Elektrizität für jeden beliebigen Punkt im Innern gleich 0 seyn müsse, da andernfalls eine Zerlegung der natürlichen Elektrizität dieses Punktes und dadurch eine Störung des angenommenen Gleichgewichtes eintreten müsse. Ist jedoch die Vertheilung ausschließlicly eine Molecularwirkung des thätigen *Dielectricums*, so kann gar keine Zerlegung im Innern des Leiters durch Anziehungs-

wirkung eintreffen. Die erste Grundbedingung der Poisson'schen Rechnungen fällt daher fort. Wahrscheinlich wird sich die zweite Bedingung, »dafs die freie Oberfläche der elektrischen Schicht eine Gleichgewichtsfläche seyn müsse,« aus dem Molecularvertheilungsgesetz herleiten lassen — wodurch der Widerspruch zwischen beiden Theorien beseitigt würde.

Eine weitere Consequenz der Faraday'schen Theorie ist die gänzliche Verschiedenheit der Begriffe »elektrische Kraft oder Spannkraft« und Dichtigkeit der Elektricität. Es zeigt sich diese Verschiedenheit am klarsten in der als richtig erwiesenen Anschauung, *»dafs die Elektricitätsmenge jedes Flächenelements als durch einen elektrischen Strom von bestimmter kurzer Dauer, durch das leitend gedachte Dielectricum hindurch«*, entstanden gedacht werden kann. Die Dichtigkeit oder die Elektricitätsmenge der Flächeneinheit entspricht daher der *Stromstärke*, nicht der *elektromotorischen Kraft* des Ohm'schen Gesetzes. Hiermit steht in scheinbarem Widerspruch, dafs die *Ausströmung* und die *Schlagweite* der Elektricität, welche wir als unmittelbare Spannungserscheinungen zu betrachten gewöhnt sind, offenbar im Verhältnifs der »Dichtigkeit« stehen. Der von Licht- und Wärmeentwicklung begleitete Entladungsvorgang ist aber offenbar keine statische, sondern eine Bewegungserscheinung, und von diesem Standpunkt aus zu betrachten,

Wenn man zwei dünne Glas- oder Glimmerplatten einseitig mit Stanniol belegt und die nicht belegten Seiten so auf einander legt, dafs ein luftgefüllter Zwischenraum von geringer aber gleichmäfsiger Dicke sich zwischen ihnen befindet, so erhält man bekanntlich eine Lichterscheinung in dem ganzen luftgefüllten Raume, wenn man den so gebildeten Collector durch eine hinlänglich geladene Leydner Flasche ladet. Diese Lichterscheinung wiederholt sich bei der Entladung des Collectors. Das Leuchten des Luft-raums tritt nicht ein, wenn die Flasche sehr schwach geladen ist. Es beginnt bei einer *ganz bestimmten Ladung*

und verstärkt sich von diesem Punkte an mit der Vergrößerung der Ladung der Flasche.

Es liegt nahe aus dieser Erscheinung den Schlufs zu ziehen, dafs die elektrische Polarisirung der Moleküle eines *Dielectricums*, als welche wir die Molecularvertheilung betrachten müssen, ein bestimmtes von der Natur und Dichtigkeit des Körpers abhängiges, Maximum nicht überschreiten kann, und dafs ein Spannungs- oder Polarisations-Ueberschufs durch eine von Licht und Wärmeentwicklung oder chemischer Action begleitete Bewegungserscheinung noch unbekannter Natur ausgeglichen oder übertragen wird. Gesetzt der Gesamtvertheilungswiderstand des Glases wäre gleich dem des Luftraumes zwischen den Glastafeln und die elektrische Kraft E wäre so gewählt, dafs das Vertheilungsmaximum der Luft gerade erreicht wäre, so wäre, wenn v den Vertheilungswiderstand der Glasmasse bezeichnet

$$Q = \frac{E}{2v}.$$

Wird nun die wirksame elektrische Kraft E verdoppelt, so würde die Ladung

$$Q' = \frac{2E}{2v}$$

seyn, wenn das Vertheilungsmaximum des Luftraumes nicht überschritten wäre. Da diefs nun aber nach der Voraussetzung schon bei der Hälfte dieser Ladung der Fall ist, so kann man sich die Ladung in zwei Theile zerlegt denken, von denen der eine gleich $\frac{E}{2v}$, der andere durch $\frac{E}{v}$ ausgedrückt werden kann, indem der Vertheilungswiderstand der Luftschicht für den zweiten Theil fortfällt. Es wird mithin die wirkliche Ladung des Collectors

$$Q'' = \frac{E}{2v} + \frac{E}{v} = \frac{3}{2} \cdot \frac{E}{v}$$

seyn.

Der *Entladungsvorgang* im lufteerfüllten Raume, mufs daher gleich $Q'' - Q = \frac{E}{2v}$ seyn. Das Arbeitsäquivalent

dieser Entladung im Innern des *Dielectricums* muß als Licht, Wärme oder Veränderung der Gruppierung der Körpermoleculé, d. i. als chemische Action, auftreten. Im vorliegenden Falle findet gleichzeitig mit der Licht- und Wärmeentwicklung eine Umwandlung des Sauerstoffs der Luft in Ozon ¹⁾ statt.

Wären die inneren, durch Luft getrennten, Glasflächen leitend, so würde nur in dem Falle eine ganz gleiche, den ganzen luftgefüllten Raum erfüllende, Entladung zwischen denselben eintreten, wenn die Flächen absolut eben und parallel und die Dichtigkeit der Luft überall vollkommen gleich wäre. Anderenfalls würde die Entladung zuerst an den Stellen beginnen, die einander am nächsten oder deren *elektrische Dichtigkeit* am größten wäre. Da durch die, die Entladung begleitende, Erwärmung die von ihr ergriffene Luft verdünnt und ihr *Vertheilungsmaximum dadurch progressiv vermindert wird*, so muß sich jetzt die ganze Entladung da bewerkstelligen, wo sie einmal begonnen hat; es wird mithin anstatt einer allgemeinen Lichter-

- 1) Ich habe diese Erscheinung zur Construction eines Apparates benutzt, der die Ozonisirung des Sauerstoffs durch inducirte Ströme bezweckt.

Zwei Glasröhren aus möglichst dünnem Glase, von denen die eine an einem Ende geschlossen und etwas enger ist, wie die andere, werden so in einander gesetzt, daß der ringförmige Zwischenraum zwischen beiden Röhren überall gleich dick ist. Beide Röhren werden darauf an einem Ende zusammen geschmolzen und das äußere Rohr mit einem, zum ringförmigen Raume führenden, Ansatzrohr versehen. Das andere Ende des äußeren Rohres wird zu einem dünnen Rohre ausgezogen. Fig. 6^a u. 6^b Taf. II zeigen diesen Apparat in Auf- und Grundriss. Es wird hierdurch ein Glasrohr mit hohlen Wänden gebildet, deren Höhlungen durch zwei, möglichst von einander entfernte, Ansatzröhren in Verbindung mit der äußeren Luft stehen. Ist nun die äußere und innere Oberfläche des Glasrohrs mit einer metallischen Belegung versehen und würden die Drahtenden der secundären Spirale eines kräftigen Inductionsapparates mit Wagner'schem Hammer mit demselben leitend verbunden, so beginnt der Zwischenraum zwischen den Glasröhren zu leuchten und die in ihm befindliche Luft wird ozonisirt. Durch Hineinblasen in das eine Ansatzrohr kann man die Luft leicht wechseln und auf diese Weise schnell große Mengen ozonisirter Luft erhalten. Fig. 7 ist ein Längendurchschnitt durch den beschriebenen Apparat.

scheinung eine auf einen kleinen Raum beschränkte — ein elektrischer Funke — auftreten.

Dem analog kann man sich die Entladung eines Ansammlungsapparates mithin auch eines Conductors durch Ausstrahlungs- oder Entladungsfunken überall vorstellen. Eine an einem Conductor befindliche vollkommene Spitze muß stets »ausströmen«, da die Dichtigkeit der Elektricität der Spitze unendlich groß ist, mithin bei den nächsten Luftschichten das *Vertheilungsmaximum* jedenfalls überschritten wird. Der »Büschel«, d. i. die Entladungssphäre, wird sich so weit ausdehnen, bis in Folge der Erweiterung der Begränzungsflächen des »Büschels« die Ueberschreitung des Vertheilungs- oder Polarisationsmaximums der Luft nicht mehr stattfindet.

Nähert man dagegen einem geladenen Conductor eine abgeleitete Kugel, so wird die Entladung beginnen, wenn bei der, mit der Annäherung der Kugel schnell wachsenden, Ladung zwischen Kugel und Conductor die Gränze des Polarisationsmaximums der die Punkte größter Dichtigkeit umgebenden Luftschichten überschritten wird. Dadurch, daß in diesem der Entladungsvorgang eintritt, wird die Luft erwärmt und verdünnt, und hierdurch das Polarisationsmaximum derselben progressiv vermindert. Die Entladung muß daher die entfernten *am stärksten polarisirten* Lufttheile angreifen und sogleich eine vollständige werden und dabei auf eine geringe räumliche Ausdehnung beschränkt bleiben.

Wenn durch diese Auffassung des Entladungsvorganges auch noch nicht alle Erscheinungen genügend erklärt werden, so zeigt sie doch, daß die Thatsache, daß die Entladung durch Funken oder Büschel von der *Dichtigkeit*, nicht von der *elektrischen Kraft* abhängt, der Molecularvertheilungstheorie widerspricht.

Es liegt nicht in meiner Absicht, auf die im Obigen weiter entwickelte Theorie der »elektrostatischen Molecularinduction« eine allgemeine elektrische Theorie zu begründen, da ich glaube, daß die Experimental-Untersuchun-

gen hierzu noch nicht vollständig genug sind. Ich will nur schließlic noch darauf aufmerksam machen, daß es sehr wahrscheinlich ist, daß der *Sitz der Elektrizität* von den Leitern in die sie umgebenden Nichtleiter zu verlegen und sie selbst als eine *elektrische Polarisation der Moleküle der letzteren* zu definiren ist. Die Leiter würden dann als nicht polarisirte Räume im elektrisch polarisirten Medium, mit der Eigenschaft die Polarisation ihrer Umgebung von einem Punkte ihrer Gränzfläche zu jedem andern übertragen zu können, aufzufassen seyn. Nimmt man an, daß der Vertheilungscoefficient der Leiter *sehr groß* gegen den der Nichtleiter und proportional ihrer Leitungsfähigkeit, das Vertheilungsmaximum derselben dagegen verschwindend klein ist — so scheinen alle Bedingungen zur Erklärung der Erscheinungen des elektrischen Stromes wie auch der Anziehung und Abstofsung erfüllt zu werden.

IV. *Versuche über Endosmose des Glaubersalzes; von Dr. Wilibald Schmidt,*

Gymnasiallehrer zu Plauen im Voigtlande.

Bei den Erscheinungen der Endosmose kommen zwei Umstände in Betracht: die Geschwindigkeit, mit welcher ein Austausch der Stoffe durch die Membran erfolgt, und das Verhältniß, in welchem die gewanderten Quantitäten zu einander stehen. Die erste Frage ist zuerst von Vierordt (Griesinger's Archiv für phys. Heilk. VI; diese Annalen Bd. LXX, S. 519) einer genauen Untersuchung unterworfen worden und von ihm der bereits von Dutrochet aufgestellte Satz bestätigt worden, daß die Geschwindigkeit der Endosmose bei Lösungen desselben Stoffes dem Unterschied der Concentrationsgrade der angewandten Lö-

sung proportional sey. Seine Versuchsmethode war in der Hauptsache volumetrisch, so daß er einerseits die Volumzunahme der dichten, andererseits die Volumabnahme der diluirten Lösung betrachtete. Hierzu kommt jedoch noch eine quantitative Bestimmung des übergegangenen festen Stoffes. Ist schon die volumetrische Bestimmung an sich nicht der Genauigkeit fähig, als die Gewichtsbestimmung, so mußten sich hauptsächlich dadurch Unregelmäßigkeiten einstellen, daß erstlich nicht der Unterschied der Temperatur, welche bei verschiedenen Versuchen der Kochsalzreihe zwischen 18° und 5° R. schwankt, zweitens nun der anfängliche Grad der Concentration und nicht der in der Versuchsdauer von 5 Stunden veränderte, berücksichtigt ward, endlich daß nur verhältnißmäßig wenige Versuche mit derselben Membran angestellt worden sind, sondern aus einer Reihe mit verschiedenen Membranen ausgeführter Versuche das Mittel gezogen und damit die einzelnen Versuche verglichen worden sind. Daher ergeben sich bei den Versuchen mit Kochsalz Abweichungen, welche bis $+19,8$ Proc. und -24 Proc. sich erstrecken, zu geschweigen der noch weit größeren Differenzen bei den Versuchen mit Zuckerlösung, und zu geschweigen, daß sogleich in der ersten Nummer der Versuchsreihe mit Kochsalz (No. 43) der Abweichung $k = -26$ Proc. statt $-2,6$ Proc. ist. Aus den Untersuchungen der zum Wasser übergegangenen Salzmen gen schließt ferner Vierordt bereits, daß auch diese Quantitäten der anfänglichen Concentration proportional seyen, allerdings mit Abweichungen der beobachteten Werthe von der berechneten bis zu $-28,6$ und $+21,3$. Mit dem vorigen zusammengehalten liegt aber hierin implicirt das Gesetz, daß, wie auch die Concentration der angewandten Lösung sey, doch die Gewichtsmengen des endosmotisch ausgetauschten Salzes und Wassers in einem constanten Verhältniß zu einander stehen. Diese Frage, die Frage nach dem Verhältniß des gewanderten Wassers zum gewanderten festen Körper, wurde von nun an diejenige, welche fast allein die Aufmerksamkeit der über diesen

Gegenstand Experimentirenden auf sich zog. Bekanntlich stellt Jolly (Henle und Pfeufer Zeitschr. f. rat. Med. Bd. VII, S. 81) zuerst ausdrücklich den Satz auf, daß das Verhältniß der ausgetauschten Stoffe von dem Concentrationsgrade der angewandten Lösungen unabhängig sey und er fand für diese nach seiner Meinung constante Verhältnißzahl den Namen der endosmotischen Aequivalente. Ludwig (*ibid.* Bd. VIII, S. 1) griff diese Behauptung an und fand, daß jenes Verhältniß, z. B. für verschiedene Concentrationen von Glaubersalz zwischen 42,2 und 4,3 schwankt. Cloetta (Diffussionsversuche durch Membranen mit zwei Salzen, *dissert. inaugur.* Zürich 1851) wiederholte die Versuche und gelangt zu einem zwischen beiden Forschern mitten inne liegenden Resultate, daß zwar das endosmotische Aequivalent von der Concentration abhängig sey, doch bei weitem nicht in dem Grade, als es aus Ludwigs Versuchen hervorging; er fand es zwischen 7,5 und 12,6. Andere Forscher, wie Buchheim, Harzer, Stadion, Fick haben entweder sich mit der allgemeinen Theorie über die Gründe der Endosmose beschäftigt, und dabei ihre Beobachtung gleichfalls darauf gerichtet, welche Veränderungen das endosmotische Aequivalent eines und desselben Stoffes bei mannichfacher Abänderung der äußeren Bedingungen erleidet, oder unter stillschweigender Annahme der Richtigkeit von Jolly's Hypothese die verschiedenen Werthe des endosmotischen Aequivalents für verschiedene Stoffe gesucht.

Hierbei ist denn die Frage nach der Geschwindigkeit der Endosmose, die doch von nicht geringerem Interesse ist, mehr in den Hintergrund getreten. Nur Jolly berührt sie in der oben citirten Abhandlung. Ausgehend von der Existenz eines constanten endosmotischen Aequivalents und von der Annahme, daß die Menge des übergetretenen Salzes in jedem Momente proportional sey der in 100 Grm. Wasser gelösten Salzmenge, gewinnt er die Differenzialgleichung $dx = \alpha f \frac{a-x}{n+\beta x} dt$, wo x die Menge des in der

Zeit t übergetretenen Salzes, a die ursprünglich in der Lösung enthaltene Menge Salz, u die Menge des zur Lösung angewandten Wassers, β das endosmotische Aequivalent, f der Flächeninhalt der Membran, α ein constanter Factor ist und findet durch Integration

$$t, \alpha f = (n + a\beta) \log n \cdot \frac{a}{a - a_1} - \beta a_1,$$

wo a_1 die in der Zeit t_1 übergetretene Menge Salz ist. Nun findet er durch Wägungen nach Intervallen von gewöhnlich je 24 Stunden die Gewichtszunahmen $p_1, p_2 \dots$ eines Rohres, berechnet hieraus die zugehörigen Mengen Salzes a_1, a_2, \dots als $a_1 = \frac{p_1}{\beta - 1}$ und durch Substitution dieser Werthe in obige Formel die Verhältnisse von $t_1:t_2, t_2:t_3$, und vergleicht diese mit den Verhältnissen der durch die Beobachtung gegebenen Zeiten. Eine Uebereinstimmung beider beweist ihm die Richtigkeit der gemachten Voraussetzungen. Bei dieser Methode sind einmal die Zeiträume, welche die Versuche umfaßt zu groß, als daß sich während derselben alle Bedingungen der Endosmose auch nur annähernd als gleichbleibend voraussehen ließen, andererseits sind seine Gewichtszunahmen sehr bald nach Anfang des Versuches so klein, daß kaum ein sicherer Schluß sich auf sie bauen läßt.

Indem ich nun den Männern mich anreihete, welche Versuche über Endosmose angestellt haben, hatte ich folgenden Zweck: Erstens das Gesetz der Geschwindigkeit der Endosmose zu prüfen und dabei namentlich zu erörtern, in wie fern sie vom Concentrationsgrade der Lösung abhängig sey und welchen Einfluß die Temperatur auf sie habe. Es war, um allen Einwürfen möglichst zu begegnen, hierbei nothwendig, daß während der Dauer eines Versuches sich die Temperatur nicht merklich ändere, daß auch die anfängliche Concentration von der schließlichen sich möglichst wenig unterscheide und daß doch hinreichend große Quantitäten der Stoffe wanderten, um mit Sicherheit etwas daraus schließen zu können. Deshalb waren große Mem-

branflächen erforderlich. Es mußte ferner eine große Zahl von Versuchen mit derselben Membran ausgeführt werden, damit die Unterschiede des Processes, welche aus der verschiedenen Beschaffenheit verschiedener Membranen hervorgehen, möglichst eliminirt werden.

Zweitens beabsichtigte ich, die Bestimmung des endosmotischen Aequivalents nochmals zu wiederholen und das Meinige dazu bei zu tragen, diese so verschieden beantwortete Frage zu einer Entscheidung zu bringen. Auch hierbei sollte nicht allein der Einfluß verschiedener Concentrationen, sondern auch der der Temperatur berücksichtigt werden.

In den bisher von mir angestellten Versuchen habe ich ausschließlich Glaubersalzlösungen angewandt und gelten natürlich die auf sie gegründeten Schlüsse vorläufig nur für diesen Stoff.

§. 1. Beschreibung der Versuchsmethode.

Vier kreisförmige Cylinder von völlig gleicher Weite überspannte ich mit Stücken eines Herzbeutels vom Rind, welche ich zuvor in destillirtem Wasser gespült, darauf mehrere Tage in Weingeist gelegt, endlich eine halbe Stunde lang vor dem Ueberspannen nochmals gewässert hatte. Den aufwärts geschlagenen Rand der Membranen überstrich ich mit Schellacklösung, damit dieser Theil derselben von der Endosmose völlig ausgeschlossen bleibe, auch die Haltbarkeit des Fadens vergrößert werde. Der Durchmesser der freien Membranfläche betrug bei allen 103^{mm}. Ueber das Gefäß, welches die umgebende Flüssigkeit aufnahm, legte ich eine Zinktafel mit passenden Oeffnungen, durch welche ich die mit Papierbüschen umbundenen Cylinder nach Belieben verschiebbar aufhängen konnte. Um die Cylinder wägen zu können, waren in der Nähe des oberen Randes Kautschuckbänder um sie gelegt und Seidenfaden an diese gebunden, welche sich zu einer Schlinge vereinigten. Die Cylinder waren mit Pappdeckeln

verschlossen. Zu weiterem Schutz gegen Verdunstung diente eine in einem Falz der Zinktafel genau schließende Glasglocke. Die Zinktafel war zwischen den Glascyindern noch mit mehreren Oeffnungen durchbrochen, theils um Thermometer in ihnen aufhängen zu können, theils damit der innere Raum der Glasglocke immer mit Wasserdampf gesättigt sey. Mit jeder der genannten vier Membranen habe ich zwanzig Versuche angestellt, so daß immer alle vier gleichzeitig im Gebrauch waren. Nach dem jedesmaligen Ende des Versuchs wässerte ich dieselben mehrere Stunden aus; darauf wurden sie getrocknet, vor Anfang des nächsten Versuchs aber ungefähr 24 Stunden lang mit destillirtem Wasser aufgeweicht. Einige Versuche, nämlich die unter No. 2, 4, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 19 angeführten, folgten den vorhergehenden, ohne daß die Membranen inzwischen getrocknet worden wären. Zweimal wurden sie während der ganzen Zeit der Versuchsreihe nochmals mit Weingeist behandelt, um ihrer ferneren Brauchbarkeit sicherer zu seyn, obwohl sich noch keine Spur von Fäulniss etwa gezeigt hatte; dies geschah vor No. 10 und 16.

Für die Versuche unter No. 21 und 22 überspannte ich 6 Cylinder, bei denen die freie Oberfläche der Membran 66^{mm} im Durchmesser betrug, auf dieselbe Weise mit verschiedenen Membranen.

Der Verlauf eines jeden Versuches bestand nun darin, daß der Cylinder außen und innen mit Fliespapier getrocknet und gewogen wurde; darauf ward eine gewisse Menge einer Lösung, und zwar annähernd immer gleiche Volumina für alle vier Cylinder, eingegossen, der Cylinder mit dem Inhalte nochmals gewogen, in das Gefäß mit der umgebenden Flüssigkeit gehangen, nach gewisser Zeit wieder herausgenommen, außen mit Fliespapier getrocknet, gewogen, seines Inhaltes entleert, innen getrocknet und nochmals gewogen. Diese Wägungen wurden mit einer Wage bewirkt, welche bei jederseitiger Belastung von 200 Gr. noch ein Uebergewicht von 0,91 Gr. deutlich er-

kennen liefs. Sie wurde statt einer feineren benutzt, weil die Wägungen mit ihr sehr schnell ausführbar waren und an den grossen Membranflächen binnen drei Minuten unter gewöhnlichen Umständen doch schon 0,01 bis 0,02 Gr. verdunsteten. Die wiederholten Abtrocknungen und Wägungen nach der Endosmose kosteten im Ganzen etwa fünf Minuten bei jedem Cylinder; der durch Verdunstung schädliche Theil davon etwa 2 bis 3 Minuten. Bei bedeutendem Ueberschufs der Temperatur der im Cylinder enthaltenen Flüssigkeit über die Umgebung war der Verlust durch Verdunstung gröfser. Nun war der Procentgehalt der ursprünglich in den Cylinder gegossenen Lösung so wie der zum Schlufs in ihm enthaltenen ferner der der umgebenden Flüssigkeit vor und nach der Endosmose zu bestimmen. Aus den gegebenen Gröfsen konnte dann der Salzverlust und die Wasservermehrung im Cylinder bestimmt werden. Nebenbei hatte man eine kleine Controlle an der Veränderung der umgebenden Flüssigkeit. Doch wurde auf dieselbe wenig Werth gelegt, da es mühsam gewesen wäre, die Menge derselben jedesmal zu bestimmen. Sie betrug immer 5000 bis 5400 Cubcentim., zwischen welchen Gränzen die Menge nach dem Augenmaafs geschätzt wurde. Der Hauptzweck der Untersuchung der umgebenden Flüssigkeit betraf die Rücksicht auf den Einflufs ihrer Beschaffenheit auf die Endosmose. Sie bestand entweder aus destillirtem Wasser oder aus einer Lösung von Glaubersalz in solchem.

Zur Untersuchung der gedachten Lösungen bediente ich mich durchgängig der specifischen Gewichtsbestimmungen. Ich brauchte dazu die bereits in meiner Abhandlung über Filtration (diese Annalen Bd. XCIX, S. 368) beschriebene Waage von Hugershoff, so wie das dort beschriebene Verfahren, halte es aber für meine Schuldigkeit, eine Probe meiner hierauf bezüglichen Versuche mitzutheilen.

Das Gewicht eines Glaskörpers am Waagebalken, nach Entfernung der einen Waageschale betrug am 10. Oktober 1856

holter Untersuchung derselben Lösung in verschiedenen Temperaturen eine Abweichung des specifischen Gewichtes erst in der sechsten Decimale.

§. 2. Berechnung einer Tabelle der specifischen Gewichte und Procentgehalte von Glaubersalzlösungen.

Es galt nun zunächst eine Tabelle für die specifischen Gewichte und Procentgehalte von Glaubersalzlösungen anzufertigen, da die mir bekannte von Brandes und Gruner in Brandes Archiv Bd. XXII, S. 148 nicht hinreichende Genauigkeit besitzt. Die Angaben des Procentgehaltes machte ich nach den Gewichtsmengen krystallisirten Glaubersalzes in 100 Gewichtseinheiten der Lösung. Zu dem Ende bereitete ich 8 verschiedene Lösungen L von krystallisirtem Glaubersalz, an dem keine Spur von Verwitterung oder Feuchtigkeit zu bemerken war, in destillirtem Wasser und bestimmte ihr specifisches Gewicht nach der im vorigen Paragraph beschriebenen Methode. Ich fand für den Procentgehalt p in der folgenden Tabelle die entsprechenden specifischen Gewichte s . Die Werthe unter der Rubrik $\frac{(s-1)10^3}{p}$, welche mit wachsendem Procentgehalt allmählich wachsen, lassen im Allgemeinen über die Genauigkeit der Bestimmungen ein Urtheil gewinnen.

Die bei den Lösungen L angewandten Salzmengen waren bis auf 0,0005 Gr. der gebrauchten Wassermengen wenigstens auf 0,001 Gr. sicher, der Procentgehalt also, da die ganze Menge der Lösung mindestens 80 Gr. betrug, auf 0,0008 Proc. Da andererseits die Bestimmungen des specifischen Gewichtes bis auf 0,00001 sicher angenommen werden konnten und der Fehler in der Berechnung des Procentgehaltes, der dieser Gränze des Fehlers zugehört, sich auf 0,004 Proc. beläuft, weil $\frac{(s-1)1000}{p}$ ungefähr $= 4$ ist, so kann, falls die äußersten beim Titriren und bei den specifischen Gewichtsbestimmungen begangenen Fehler nach entgegengesetzten Seiten fallen, die Abweichung des nach einer genauen Formel aus dem specifischen Gewichte be-

rechneten Procentgehaltes von dem durch Titriren gefundenen bis zu 0,0048 Proc. betragen. Dies ist also die Fehlergränze, welche beim Aufsuchen einer Formel zwischen p und s zu gewärtigen ist. Setzt man nun $(s-1)1000=x$, so kann man versuchen, aus den gegebenen Beobachtungen eine Formel $p = ax + bx^2 + cx^3 + \dots$ zu berechnen; man wird bei derjenigen Gliederzahl stehen bleiben, für welche zuerst die Fehler innerhalb der eben bestimmten Gränzen fallen. In der folgenden Tabelle bedeutet nun p' die Procentgehalte, welche aus den Werthen von s nach der Formel $p = 0,253380x - 0,0000649866x^2$ folgen, die nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet ist. Die Rubrik Δ' enthält die Abweichungen der so berechneten Werthe von den beobachteten. Da dieselben meist gröfser sind, als zu erwarten steht, auch fast ohne Ausnahme in der ersten Hälfte der Beobachtungen negativ, in der zweiten positiv sind, so scheint diese Formel nicht zu genügen. Unter der Rubrik p'' sind endlich die Procentgehalte aufgeführt, welche aus der gleichfalls nach der Methode der kleinsten Quadrate berechneten Formel $p = 0,2525644x - 0,00003655533x^2 - 0,0000002169531x^3$ folgen. Unter Δ'' stehen die Abweichungen derselben von den beobachteten Werthen.

p	s	$\frac{(s-1)10^3}{p}$	p'	Δ'	p''	Δ''
1,96727	1,007795	3,9623	1,97112	+ 0,0038	1,96639	- 0,0009
3,9283	1,015586	3,9678	3,93349	+ 0,0052	3,92687	- 0,0014
5,0788	1,020188	3,9749	5,08875	+ 0,0100	5,08209	+ 0,0033
7,3220	1,029139	3,9797	7,32806	+ 0,0061	7,32307	+ 0,0011
12,9439	1,051740	3,9973	12,93591	- 0,0080	12,93977	- 0,0041
15,7133	1,063005	4,0096	15,70624	- 0,0071	15,71345	+ 0,0001
19,5644	1,078795	4,0275	19,56165	- 0,0027	19,56777	+ 0,0034
23,5662	1,095364	4,0466	23,57232	+ 0,0071	23,56495	- 0,0012

Da die letzte Formel zu genügen scheint, so habe ich mir nach ihr eine Tabelle berechnet, welche nach den einzelnen Tausendtheilen des specifischen Gewichtes fortschreitet, und aus der man für jedes specifische Gewicht mit leichtester Mühe durch Interpolation den zugehörigen Pro-

9 *

centgehalt entnehmen kann. Einen Auszug derselben will ich hier mittheilen:

<i>s</i>	<i>p</i>	<i>s</i>	<i>p</i>	<i>s</i>	<i>p</i>
1,000	0,00000	1,035	8,78569	1,070	17,42597
1,005	1,26188	1,040	10,03020	1,075	18,64518
1,010	2,52177	1,045	11,27160	1,080	19,86012
1,015	3,77951	1,050	12,50971	1,085	21,07062
1,020	5,03493	1,055	13,74436	1,090	22,27654
1,025	6,28788	1,060	14,97541	1,095	23,47770
1,030	7,53818	1,065	16,20268	1,100	24,67394

Soll der Procentgehalt einer Lösung nach wasserfreiem Glaubersalz gefunden werden, so ist die aus dieser Tabelle entnommene Zahl noch mit $\frac{890,0}{2015,9}$ zu multipliciren. Im Folgenden sind die Procentbestimmungen nach wasserfreiem Glaubersalz gegeben.

§. 3. Mittheilung der endosmotischen Versuche.

Den ersten Versuch werde ich in aller Vollständigkeit, von den übrigen in derselben Weise ausgeführten, der Kürze wegen nur die wichtigsten Zahlen tabellarisch mittheilen.

Es wurden 4 Lösungen L_1 , L_2 , L_3 , L_4 von Glaubersalz bereitet, deren specifische Gewichte und Procentgehalte sich wie folgt ergeben:

	L_1	L_2	L_3	L_4
<i>s</i>	1,063123	1,044430	1,026233	1,014516
<i>p</i>	6,95709	4,91892	2,91521	1,61648

Die Wägungen des Cylinders wurden am Waagebalcken nach Entfernung der Waageschale vorgenommen, und fanden sich folgendermaßen:

Cylinder I		Cylinder II
mit völlig trockner Membran	74,15	24,98
mit feuchter u. abgetrockneter Membran	75,95	26,82
†† Ab. 6 ^h 15' mit L'	145,92	Ab. 7 ^h 40' mit L_2 99,87
†† Mg. 6 ^h 15' mit L'_1	171,15	Mg. 7 ^h 40' mit L' 118,11
mit feuchter u. abgetrockneter Membran	76,35	27,25

Cylinder III		Cylinder IV	
mit völlig trockner Membran	61,44		38,66
mit feuchter und abgetrockneter Membran	63,08		40,40
$\frac{1}{11}$ Ab. 6 44' mit L_3	133,41	Ab. 7 ^h 15' mit L_4	111,41
$\frac{1}{12}$ Mg. 6 ^h 45' mit L_3	145,96	Mg. 7 ^h 15' mit L_4	119,25
mit feuchter und abgetrockneter Membran	63,95		40,76

Hiernach ist der Gewichtsinhalt vor und nach der Endosmose g und g' :

	I	II	III	IV
g	69,97	73,05	70,33	71,01
g'	94,80	90,86	82,01	78,49

Die specifischen Gewichte s' und Procentgehalte p' der Lösungen L_1 , L_2 , L_3 und L_4 fanden sich wie folgt:

	L_1	L_2	L_3	L_4
s'	1,008301	1,009522	1,006327	1,003534
p'	0,92537	1,06238	0,70554	0,39425

Hieraus ergibt sich die Menge des angewandten Salzes $a = gp - g'p'$ und des gewanderten Wassers $b = g' - g + a$, endlich das Verhältniß der ausgetauschten Stoffe $\beta = \frac{a}{b}$, wie folgt:

	für Cylinder I	Cylinder II	Cylinder III	Cylinder IV
a	3,99062	2,62799	1,417166	0,83842
b	28,82	20,44	13,15	8,32
β	7,22	7,78	8,04	9,92

Die umgebende Flüssigkeit war zu Anfang destillirtes Wasser, nach der Endosmose fand sich ihr specifisches Gewicht 1,001567, folglich ihr Procentgehalt 0,17486, die Summe obiger Werthe von a ist aber $\Sigma a = 8,92869$ und $\frac{\Sigma a}{51} = 0,17507$. Die Temperatur wurde nach gewissen Zeiträumen beobachtet und mit Berücksichtigung der Länge der Zwischenzeiten der mittleren Temperatur berechnet; sie war im Mittel 13°,0 C. und schwankte nun zwischen 12°,8 und 13°,3 C. Im Folgenden sind nun alle Versuche, welche ich überhaupt über Endosmose angestellt habe, einschliesslich des bereits beschriebenen, in gröfserer Kürze mitgetheilt. Die Bedeutung der letzten Columne wird aus dem

Folgenden klar werden. Ich schicke nur noch einige Bemerkungen voraus. Die ersten 20 Versuche wurden sämmtlich mit denselben vier Stücken eines Herzbeutels vom Rind angestellt, die unverändert über die Cylinder gespannt blieben; sie sind als Ia, Ib, Ic, Id bezeichnet. Dagegen dienten beim 21. Versuche als Membranen zwei Stücke von zwei anderen Herzbeuteln vom Rinde (II und III), ferner zwei Stücke einer Schweinsblase (IVa und IVb), endlich zwei Stücke einer Kalbsblase (Va und Vb). Beim 22. Versuche wurde nochmals II, III und IVa benutzt; um aber auch die Endosmose durch eine pflanzliche Membran zu untersuchen, brauchte ich auf den Rath des Hrn. Dr. Hofmeister in Leipzig ein Stück Reispapier (VI) als Membran zu zwei verschiedenen Versuchen. Die Durchmesser der in den Versuchen No. 21 und 22 angewendeten Cylinder waren 66 Millimeter. Auch wurde zur ungefähren Vergleichung der Membranen ihre Dicke mikroskopisch bestimmt, freilich nicht an den von den Cylindern wieder abgelösten Stücken, welches sicherer gewesen wäre, aber deshalb nicht geschah, weil ich die übergespannten Membranen zu späteren Versuchen aufbewahrte, sondern überhaupt nur an Stücken derselben Membran, die nun freilich nicht der gleichen Spannung ausgesetzt gewesen waren. Es fand sich die Dicke

im trocknen	{ Zustände	0,218 ^{mm}	0,150	0,225	0,105	0,188	0,085
im feuchten		0,338	0,278	0,383	0,271	0,308	

Das Reispapier bestand aus 3 bis 3½ Zellschichten.

Die Differenz des Gewichts des feuchten und abgetrockneten Cylinders vor und nach der Endosmose war in den späteren Versuchen nie wieder so groß als in den beschriebenen ersten, sondern betrug gewöhnlich nur 1 bis 2 Zehnthelle eines Gramm.

Numer und Datum des Versuchs	Dauer des Ver- suchs in Stunden h	Bezeich- nung der Mem- bran	Tempe- ratur in Cels. t	Proc. d. aufse- ren Lösung anfangl. $= q$ schlißl. $= q'$	Proc. d. inne- ren Lösung anfangl. $= p$ schlißl. $= p'$	Gewichtsmen- gen der inne- ren Lösung anfangl. $= g$ schlißl. $= g'$	gewandertes Sala $= a$ gewandertes Wasser $= b$	Endos- mose Aequi- valent β	Coef- ficient A
1) $\frac{11}{11}$ 56.	12	Ia	13,0	0 0,17407	6,95709 0,92537	69,97 94,80	3,99062 28,82	7,22	8,691
2) $\frac{11}{11}$ 56.	11 $\frac{1}{2}$	"	13,5	0,17507 0,34809	6,95709 1,23516	74,25 97,30	3,96383 27,01	6,81	8,435
3) $\frac{11}{11}$ 56.	3	"	11,5	0 0,07406	5,95709 4,03080	76,23 86,49	1,81716 12,08	6,65	7,836
4) $\frac{11}{11}$ 56.	3	"	12,6	0,07406 0,13961	4,91892 2,82231	74,77 82,69	1,34411 9,26	6,89	8,156
5) $\frac{11}{11}$ 56.	2	"	10,6	0 0,05995	6,95709 5,66756	150,03 157,90	1,48865 9,36	6,29	8,574
6) $\frac{11}{11}$ 56.	3	"	12,5	0,05995 0,13377	4,91892 2,85262	76,48 84,12	1,36237 9,00	6,61	8,234
7) $\frac{11}{11}$ 56.	5	"	10,6	0 0,01719	0,138715 0,095533	141,20 141,58	0,06061 0,44	7,26	8,083
8) $\frac{22-23}{11}$ 56.	9	"	10,9	0 0,03002	0,49469 0,26689	143,24 145,50	0,32028 2,58	8,06	7,226

Numer und Datum des Versuchs.	Dauer des Ver- suchs in Stunden h	Bezeich- nung der Mem- bran	Tempe- ratur in Cels. t	Proc. d. äufse- ren Lösung anfangl. $=q$ schließl. $=q'$	Proc. der in- neren Lösung anfangl. $=p$ schließl. $=p'$	Gewichtsmen- gen der inne- ren Lösung anfangl. $=g$ schließl. $=g'$	gewandertes Salz $=a$ gewandertes VWasser $=b$	Endos- mose Äquiva- lent β	Coëffi- cient A
9) $\frac{28-30}{11}$ 56.	23	1a	11,3	0,03002 0,74242	kryst. Salz 3,90507	49,78 144,80	16,3451 111,37	6,81	—
10) $\frac{1}{12}$ 56.	2	»	13,5	0 0,05312	6,95709 5,79245	148,10 156,92	1,21395 10,03	8,26	6,396
11) $\frac{18-19}{13}$ 56.	12	»	14,2	0,05312 0,53270	kryst. Salz 7,77908	39,28 112,60	8,60002 81,92	9,53	—
12) $\frac{1}{14}$ 57.	2	»	2,4	0 0,03606	7,00485 5,51746	76,89 82,65	0,82585 6,59	7,98	5,840
13) $\frac{1}{15}$ 57.	2	»	19,8	0,03606 0,09341	7,00485 4,62038	75,00 84,29	1,35911 10,65	7,84	6,558
14) $\frac{1}{16}$ 57.	2	»	9,6	0,05937 0,10430	7,00485 5,19020	77,35 84,63	1,02579 8,31	8,10	6,351
15) $\frac{1}{17}$ 57.	2	»	27,9	0,10430 0,17207	7,00485 4,37942	77,28 86,80	1, 1201 —	—	6,873
16) $\frac{1}{18}$ 57.	2	»	35,5	0,41253 0,48304	7,00485 4,22432	76,97 88,75	1,64255 13,42	8,17	6,673

Numer und Datum des Versuchs	Dauer des Ver- suchs in Stunden h	Bezeich- nung der Mem- bran	Tempe- ratur in Cels. t	Proc. d. aufse- ren Lösung anfängl. $\equiv q$, schließl. $\equiv q'$	Proc. d. inne- ren Lösung anfängl. $\equiv p$, schließl. $\equiv p'$	Gewichtsmen- gen der inne- ren Lösung anfängl. $\equiv g$, schließl. $\equiv g'$	gewandertes Salz $\equiv a$ gewandertes Wasser $\equiv b$	Endos- mose Aequi- valent β	Coeffi- cient A
8) $\frac{27-29}{11}$ 56.	9	16	10,9	0 0,03002	1,24262 0,72825	140,72 145,49	0,68907 5,46	7,92	5,812
9) $\frac{31}{11}$ 56.	3	"	11,5	0,03002 0,17508	6,95709 4,59119	74,57 82,92	1,38090 9,73	7,05	5,714
10) $\frac{13}{13}$ 56.	3	"	13,5	0 0,05312	1,61648 1,11513	71,86 74,25	0,33362 2,72	8,15	5,554
11) $\frac{12-13}{13}$ 56.	15	"	14,2	0,05312 0,53270	kryst. Salz 8,08939	33,43 99,40	6,73273 72,70	10,80	—
12) $\frac{1}{11}$ 57.	2	"	2,4	0 0,03606	4,95787 4,09121	76,71 80,15	0,52408 3,96	7,56	5,373
13) $\frac{1}{11}$ 57.	2	"	19,8	0,03606 0,09341	4,95787 4,55914	75,93 81,50	0,86381 6,43	7,44	5,867
14) $\frac{1}{11}$ 57.	2	"	9,6	0,05937 0,10430	4,95787 3,88327	74,56 78,78	0,63735 4,86	7,63	5,471
15) $\frac{1}{11}$ 57.	2	"	27,2	0,10430 0,17207	4,95787 3,41870	75,42 80,54	0,98581 —	—	5,857

16) $\frac{1}{2}$ 57.	2	"	34,6	0,41253 0,48304	4,95787 3,25289	73,05 79,50	1,03568 7,49	7,23	5,976
17) $\frac{1}{2}$ 57.	2	"	13,75	2,71721 2,72839	4,95787 4,36008	74,36 76,60	0,34690 2,59	7,47	5,953
18) $\frac{1}{2}$ 57.	2	"	38,5	0 0,06752	5,13128 3,49814	74,23 81,80	0,94747 8,52	8,99	4,296
19) $\frac{1}{2}$ 57.	2	"	12,25	0,06752 0,11919	5,13128 4,07162	75,82 80,81	0,60026 5,59	9,31	4,605
20) $\frac{1}{2}$ 57.	2	"	17,9	4,05809 4,05985	5,13128 4,84485	74,03 75,37	0,14712 1,49	10,13	4,731
1) $\frac{1}{11}$ 56.	12	Ic	13,0	0 0,17507	2,91521 0,70554	70,33 82,01	1,47166 13,15	8,94	5,940
2) $\frac{1}{11}$ 56.	11 $\frac{1}{2}$	"	13,5	0,17507 0,34809	2,91521 1,04992	86,00 96,53	1,49359 12,02	8,05	5,784
3) $\frac{1}{11}$ 56.	3	"	11,5	0 0,07406	2,91521 1,96437	72,10 74,34	0,61067 4,79	7,84	5,981
4) $\frac{1}{11}$ 56.	3	"	12,6	0,07406 0,13961	1,61648 1,14984	72,86 77,04	0,31058 2,56	8,24	5,558
5) $\frac{1}{11}$ 56.	2	"	10,6	0,07406 0,13961	2,91521 2,52981	143,66 146,77	0,47499 3,58	7,54	6,383
6) $\frac{1}{11}$ 56.	3	"	12,5	0,05995 0,13377	1,64648 1,13949	72,87 75,13	0,33183 2,58	8,02	5,750

Numer und Datum des Versuchs	Dauer des Versuchs in Stunden h	Bezeichnung der Membran	Temperatur in Cels. t	Proc. d. äufseren Lösung anfängl. $\equiv q$ schließl. $\equiv q'$	Proc. d. inneren Lösung anfängl. $\equiv p$ schließl. $\equiv p'$	Gewichtsmengen der inneren Lösung anfängl. $\equiv g$ schließl. $\equiv g'$	gewandertes Salz $\equiv a$ gewandertes Wasser $\equiv b$	Endosmose Äquivalent β	Coefficient A
7) 11 56.	5	Ic	10,6	0 0,01719	0,138715 0,107364	141,55 141,88	0,044023 0,37	8,40	5,567
8) 21-22 11 56.	9	"	10,9	0 0,03002	0,134919 0,092184	140,83 141,26	0,059788 0,49	8,20	4,912
9) 11 56.	3	"	11,5	0,03002 0,17508	9,36451 6,46894	76,58 86,10	1,53689 12,06	7,85	4,619
10) 11 56.	2	"	13,5	0 0,05312	6,95709 6,06236	147,95 154,68	0,91576 7,65	8,35	4,724
11) 11 56.	2	"	13,5	0,05312 0,15500	4,91892 4,24916	148,66 153,68	0,78236 5,80	7,41	5,841
12) 1 56.	2	"	2,4	0 0,03606	2,95203 2,45218	74,82 76,93	0,32150 2,43	7,56	5,536
13) 1 57.	2	"	19,8	0,03606 0,09341	2,95103 1,14972	72,88 76,35	0,50940 3,98	7,81	5,838
14) 1 56.	2	"	9,6	0,05937 0,10430	2,95103 2,32389	71,98 74,50	0,30278 2,91	7,40	5,724

15) $\frac{1}{4}$ 57.	2	1c	26,5	0,10430 0,17207	2,95103 2,04813	71,99 74,52	0,59204 —	—	6,120
16) $\frac{1}{7}$ 57.	2	"	33,25	0,41253 0,48304	2,95103 2,05246	71,46 74,74	0,57480 3,85	6,70	6,035
17) $\frac{1}{3}$ 57.	2	"	13,75	2,71731 2,72839	1,62709 1,73948	72,47 71,92	— 0,071885 — 0,62	8,62	2,298
18) $\frac{1}{2}$ 57.	2	"	37,3	0 0,06752	2,80351 1,82597	69,93 73,65	0,61567 4,34	7,05	5,243
19) $\frac{1}{4}$ 57.	2	"	12,25	0,06752 0,11919	2,80351 2,20605	73,65 76,53	0,37649 3,26	8,66	5,400
20) $\frac{1}{7}$ 57.	2	"	17,9	4,05809 4,05985	2,80351 2,93456	72,57 71,59	— 0,66339 — 1,05	15,83	1,666
1) $\frac{1}{11}$ 56.	12	1d	13,0	0 0,17507	1,61648 0,39425	71,01 78,49	0,83842 8,32	9,92	6,387
2) $\frac{1}{11}$ 56.	11,5	"	13,5	0,17507 0,34809	1,61648 0,61428	80,85 86,65	0,77465 6,57	8,48	6,143
3) $\frac{1}{11}$ 56.	3	"	11,5	0 0,07406	1,61648 1,05170	71,45 74,17	0,37493 3,09	8,24	6,802
4) $\frac{1}{11}$ 56.	3	"	12,6	0,07406 0,13961	2,91521 1,86804	73,05 77,60	0,67996 5,23	7,69	6,797
5) $\frac{1}{11}$ 56.	2	"	10,6	0	1,61648	142,64	0,30708	7,78	7,566

Numer und Datum des Versuchs	Dauer des Ver- suchs in Stunden h	Bezeich- nung der Mem- bran	Tempe- ratur in Cels. t	Proc. d. aufse- ren Lösung anfangl. $\equiv q$ schlißl. $\equiv q'$	Proc. d. inne- ren Lösung anfangl. $\equiv p$ schlißl. $\equiv p'$	Gewichtsmen- gen der inne- ren Lösung anfangl. $\equiv g$ schlißl. $\equiv g'$	gewandertes Satz $\equiv a$ gewandertes VWasser $\equiv b$	Endos- mose Aequi- valent β	Coëff- cient A
6) $\frac{22}{11}$ 56.	3	Id	12,5	0,05995 0,13377	2,91521 1,87382	74,18 78,51	0,69137 5,02	7,26	6,889
7) $\frac{22}{11}$ 56.	5	"	10,6	0 0,01719	0,80689 0,56558	141,38 143,83	0,32731 2,78	8,49	6,991
8) $\frac{28-29}{11}$ 56.	9	"	10,9	0 0,03002	0,80689 0,45735	142,35 145,81	0,48175 3,94	8,18	6,407
9) $\frac{29-30}{11}$ 56.	25	"	11,3	0 0,03002	kryst. Salz 4,94604	50,46 144,43	15,15676 109,13	7,20	—
10) $\frac{12}{12}$ 56.	3	"	13,5	0,03002 0,74240	1,61648 1,05170	70,27 72,81	0,37016 2,91	7,86	6,312
11) $\frac{12-13}{12}$ 56.	13,5	"	14,2	0 0,05312	kryst. Salz 7,89675	33,44 100,22	6,86423 73,65	10,73	—
12) $\frac{1}{1}$ 57.	2	"	2,4	0,05312 0,53270	1,62709 1,31857	72,03 73,47	0,20324 1,64	8,07	6,455
13) $\frac{1}{1}$ 57.	2	"	19,8	0 0,03606	1,62709 1,18466	74,90 77,06	0,30579 2,47	8,08	6,495

14) $\frac{1}{2}$ 57.	2	Id	9,6	0,05937 0,10430	1,62709 1,27175	73,29 74,83	0,24084 1,78	7,39	6,559
15) $\frac{1}{2}$ 57.	2	"	25,9	0,10430 0,17207	1,62709 1,13816	72,17 73,35	0,33943 —	—	6,744
16) $\frac{1}{2}$ 57.	2	"	32,1	0,42253 0,48304	1,62709 1,19512	72,24 73,87	0,29258 1,92	—	6,579
17) $\frac{3}{4}$ 57.	2	"	13,75	2,71721 2,72839	0,80544 1,05281	75,23 74,18	— 0,17504 — 1,23	7,03	3,242
18) $\frac{1}{2}$ 57.	2	"	36,1	0 0,06752	1,63442 1,06794	73,16 75,19	0,39276 2,42	—	5,781
19) $\frac{1}{2}$ 57.	2	"	12,25	0,06752 0,11919	1,63442 1,25885	72,98 74,82	0,25093 2,09	8,33	6,413
20) $\frac{1}{2}$ 57.	2	"	17,9	4,05809 4,05985	1,63442 1,96459	75,97 73,95	— 0,211144 — 2,23	10,56	2,792
21) $\frac{2}{3}$ 57.	4	II	21,75	0,09129 0,14976	7,51972 5,80576	77,73 84,50	0,93922 7,71	8,21	4,759
21) "	"	I	"	"	2,80351 2,08074	72,15 75,38	0,45427 3,68	8,10	6,486
21) "	"	IVa	"	"	7,51972 5,59612	79,20 86,39	1,12113 8,31	7,41	5,773
21) "	"	IVb	"	"	2,80351 2,05401	74,67 78,52	0,48058 4,33	9,01	6,901

Nummer und Datum des Versuchs	Dauer des Ver- suchs in Stunden h	Bezeich- nung der Mem- bran	Tempe- ratur in Cela. t	Proc. d. aufse- ren Lösung anfangl. $= q$, schliefsl. $= q'$	Proc. d. inne- ren Lösung anfangl. $= p$, schliefsl. $= p'$	Gewichtsmen- gen der inne- ren Lösung anfangl. $= g$, schliefsl. $= g'$	gewandertes Salz $= a$ gewandertes Wasser $= b$	Endo- mose Aequi- valent β	Coeffi- cient A
21) 2 ^o 57.	4	Va	21,75	0,09129 0,14976	7,51972 5,56499	78,39 85,47	1,13831 8,22	7,22	5,875
21) »	»	Vb	»	»	2,80351 2,25892	72,08 74,60	0,33561 2,86	8,52	4,614
22) 1 ^o 57.	4	II	17,5	0,10390 0,16393	2,75627 2,25903	73,15 75,83	0,30319 2,98	9,83	4,699
22) »	»	III	»	»	5,06481 3,94900	78,45 83,32	0,68303 5,55	8,13	5,747
22) »	»	IVa	»	»	7,43843 5,92369	77,47 82,68	0,86496 6,07	7,02	4,801
22) »	1	VI	16,9	0,10390 0,10390	7,43843 6,27704	77,74 84,96	0,44967 7,67	17,06	9,934
22) »	2	VI	18,3	0,16393 0,16393	2,75627 2,05257	74,44 82,68	0,35470 8,59	24,22	11,402

§. 4. Berechnung eines Coëfficienten A für die Geschwindigkeit der Endosmose des Salzes. a Einfluss der inneren Concentration bei destillirtem Wasser als umgebender Flüssigkeit.

Die Endosmose besteht aus der entgegengesetzten Bewegung zweier Stoffe. Erörtern wir zunächst den Uebergang des Salzes zum Wasser. Die Frage, die sich hier zunächst der Untersuchung darbietet, ist die: ob die Menge des in der Zeiteinheit übertretenden Salzes, unter sonst gleichen Verhältnissen und so lange die umgebende Flüssigkeit destillirtes Wasser ist, der in der Gewichtseinheit der Lösung enthaltenen Gewichtsmenge Salz proportional sey. Gesetzt, dieß sey in der That der Fall, und es sey überdieß das Verhältniß der ausgetauschten Stoffe ein von dem Procentgehalte unabhängiges β , welches wenigstens innerhalb der geringen Unterschiede, welche in der großen Mehrzahl der Versuche zwischen der anfänglichen und schließlichen Concentration obwalten, angenommen werden dürfte, so sind, zufolge einer der Jolly'schen ähnlichen Berechnung nach der Zeit y , wo x Gramm Salz und βx Gramm Wasser übergetreten sind, in einem Gramm der

Lösung $\frac{\frac{pg}{100} - x}{g + (\beta - 1)x}$ Gramm Salz, also, wenn man $\beta - 1 = \beta'$ setzt

$$dx = A' \frac{\frac{pg}{100} - x}{g + \beta'x} dy, \quad (1)$$

folglich durch Integration:

$$A'y = -\beta'x - \left(g + \frac{\beta'pg}{100}\right) \log \text{nat.} \left(x - \frac{pg}{100}\right) + b,$$

und wenn man dieß Integral zwischen den Gränzen $x=0$ und $x=a$ nimmt,

$$A'h = -\beta'a + \left\{g + \frac{\beta'pg}{100}\right\} \log \text{nat.} \left(\frac{pg}{pg - 100a}\right). \quad (2)$$

Hierfür kann man aber ohne bedeutenden Fehler, so lange die durch Endosmose übergetretene Quantität a von

Salz gegen die ursprünglich vorhandene $\frac{pg}{100}$ gering ist, den weit bequemen Ausdruck einsetzen:

$$A'h = \frac{100a}{\frac{1}{2}(p+p')}. \quad (3)$$

Denn unter jener Voraussetzung kann man in der Reihe

$$\log \text{nat} \left(\frac{pg}{pg-100a} \right) = 2 \left\{ \frac{\frac{pg}{pg-100a} - 1}{\frac{pg}{pg-100a} + 1} + \frac{1}{3} \left(\frac{\frac{pg}{pg-100a} - 1}{\frac{pg}{pg-100a} + 1} \right)^3 + \dots \right\}$$

das zweite und die folgenden Glieder vernachlässigen und dadurch wird die Gleichung (2):

$$A'h = -\beta'a + \frac{200a \left(g + \frac{\beta'pg}{100} \right)}{2pg - 100a}$$

oder

$$A'h = \frac{100a(2g + \beta'a)}{p(2g - \frac{100a}{p})} \quad (2*)$$

Setzt man andererseits in (3) für p' den Werth

$$\frac{\frac{pg}{100} - a}{g + \beta'a} \cdot 100$$

ein, so wird:

$$A'h = \frac{100a(2g + 2\beta'a)}{p(2g - \frac{100a}{p} + \beta'a)},$$

welcher Ausdruck mit dem unter (2*) in der That sehr nahe übereinkommt, da $\beta'a$ gegen $2g$ und auch gegen $2g - \frac{100a}{p}$ immer eine kleine Gröfse ist.

So befindet sich z. B. bei Berechnung des Versuches No. 5, Ia, wo die umgebende Flüssigkeit fortwährend fast genau destillirtes Wasser ist, nach (2):

$$2A' = -5,29 \cdot 1,48865 + (150,03 + 5,29 \cdot 6,95709 \cdot 150,03) \log \text{nat.} \frac{6,95709 \cdot 150,03}{6,95709 \cdot 150,03 + 148,865}$$

also

$$A' = 11,85$$

und nach (3)

$$A' = 2 \cdot \frac{148,865}{\frac{6,95709 + 5,66756}{2}} = 11,79.$$

Zu denjenigen Versuchen, wo das Verhältniß von a zu $\frac{p g}{100}$ schon bedeutend gröfser ist, gehört No. 18. I; aber auch hier ist nach Formel (2) $A' = 14,38$ und nach Formel (3) $A' = 13,82$, also der Unterschied immerhin nicht bedeutend. Am nothwendigsten ist es für die Versuche unter No. 1 und 2, die Berechnung des Coëfficienten A nach Formel (2) und nicht nach (3) vorzunehmen, da z. B. für No. 1, Ia nach (2) sich $A' = 12,25$, nach (3) $A' = 8,4$ findet.

Sucht man nun in der angegebenen Weise für jeden Versuch den Coëfficienten A' , sey es nach der genauen Formel (2), sey es nach der etwas ungenaueren, aber in den meisten Fällen ausreichenden Formel (3), so geht man, wie bemerkt, von der Voraussetzung aus, dafs wenigstens innerhalb der Grenzen der Veränderung, welche die innere Concentration im einzelnen Versuche erleidet, die Geschwindigkeit des Salzstromes in jedem Momente dem Procentgehalte der inneren Lösung proportional sey. Wenn sich nun herausstellen sollte, dafs auch für Versuche, in denen die anfängliche innere Concentration p sehr verschieden ist, der Coëfficient A' unter sonst gleichen Umständen sich doch constant fände, so wäre diels ein Beweis für die durchgängige Richtigkeit des Gesetzes von der Proportionalität der Geschwindigkeit des Salzstromes mit der Concentration der inneren Lösung bei umgebendem destillirtem Wasser.

§. 5. Fortsetzung. Einfluß der Concentration der umgebenden Flüssigkeit.

Wenn zweitens, im Fall dafs die umgebende Flüssigkeit nicht destillirtes Wasser, sondern gleichfalls eine Glaubersalzlösung vom Procentgehalte q ist, die Geschwindigkeit

der Endosmose des Salzes, wie zu vermuthen steht, der Differenz des Procentgehaltes der inneren und äusseren Lösung proportional ist, so ist nach einer analogen Rechnung:

$$dx = A'' \left(\frac{\frac{pg}{100} - x}{g + \beta'x} - \frac{9}{100} \right) dy. \quad (4)$$

Hieraus durch Integration zwischen den Gränzen $x=0$ und $x=a$:

$$A''h = -\frac{\beta'a}{1 + \frac{\beta'q}{100}} + \frac{100g \left(1 + \frac{\beta'(p-q)}{100 + \beta'q} \right)}{100 + \beta'q} \log \text{nat.} \frac{g(p-q)}{g(p-q) - a(100 + \beta'q)} \quad (5).$$

Behält man, wie vorhin, aus der angeführten Reihe für log. nat., nur das erste Glied bei, so ist:

$$A''h = \frac{100a(2g + \beta'a)}{2g(p-q) - a(100 + \beta'q)}, \quad (5*)$$

und dies stimmt sehr nahe überein mit der Gleichung:

$$A''h = \frac{100a}{\frac{1}{2}(p+p') - q} \quad (6)$$

denn diese wird durch Einsetzung des Werthes von

$$p' = \frac{\frac{pg}{100} - a}{g + \beta'a} \cdot 100$$

$$A''h = \frac{100a(2g + 2\beta'a)}{2g(p-q) - a(100 + 2\beta'q) + p\beta'a}, \quad (6*)$$

welches mit (5*) sehr nahe übereinstimmt.

Man sieht übrigens, dass die in diesem Paragraphen vorkommenden Gleichungen sämmtlich in die entsprechenden des vorhergehenden übergehen, wenn $q=0$ ist.

Das Gesetz der Proportionalität der Geschwindigkeit des endosmotischen Salzstromes mit der Differenz der Procentgehalte der inneren und äusseren Lösung kann nach Vorstehendem dadurch geprüft werden, dass man untersucht, ob die nach Formel (5) oder (6) aus den Versuchen berechnete Grösse A'' constant sey, vorausgesetzt, dass die übrigen Umstände gleich sind.

§. 6. Fortsetzung. Einfluß der Temperatur.

Um den Einfluß der Temperatur auf die Geschwindigkeit des endosmotischen Salzstromes zu erkennen, wurden namentlich die Versuche 12, 13, 14, 15, 16, 18 und 19 angestellt. Vergleicht man z. B. die Quantitäten Salz, welche in den Versuchen 14 und 15 durch die Membran Ia ausgetreten sind, so verhalten sich dieselben, wie

$$1,02579 : 1,61201 = 1 : 1,5715,$$

während die Temperaturen 9°,6 und 27,9 waren. Es lag mir die Vermuthung nahe, es möchte die Geschwindigkeit der Endosmose nach demselben Gesetz mit der Temperatur zunehmen, wie die Geschwindigkeit der Filtration durch Capillarröhren. Dieses Gesetz ist für gläserne Capillarröhren von Poiseuille in die Formel gefaßt

$$Q = A(1 + 0,0336793t + 0,0002209934t^2).$$

Hiernach entsprechen den obigen Temperaturen die Coëfficienten 1,3425517 und 2,111364, welche sich wie 1 : 1,5726 verhalten. Es wurden daher, wie man aus dem Folgenden ersehen wird, sämtliche Versuche dahin geprüft, ob sie gleichfalls dieses Gesetz bestätigen.

§. 7. Fortsetzung. Einfluß der Beschaffenheit der Membran.

Endlich ist auch die Beschaffenheit der Membran jedenfalls von Einfluß auf die Geschwindigkeit des endosmotischen Salzstroms, und jeder, der mit ähnlichen Versuchen sich beschäftigt hat, wird wissen, wie sehr man selbst bei Benutzung einer und derselben Membran zu mehreren Versuchen eine Ungleichartigkeit derselben zu gewärtigen hat. Man wird daher, wenn man die Richtigkeit der in den vorhergehenden Paragraphen angeführten Gesetze prüfen will, nicht das als Kriterium annehmen dürfen, ob der nach denselben berechnete Coëfficient für alle Versuche derselbe, oder doch für eine Membran constant sey. Statt dessen habe ich ein Verfahren eingeschlagen, welches, wie ich denke, gleich überzeugend wirken wird. Ich habe nämlich, wie oben erwähnt, vier Stücke

desselben Herzbeutels gleichzeitig je 20 verschiedenen Versuchen unterworfen und dieselben die ganze Zeit der Versuchsreihe hindurch in den Zwischenzeiten zwischen den einzelnen Versuchen in völlig gleicher Weise behandelt. Wenn nun auch die Membranen überhaupt sich während des Gebrauches ändern, so ist hier doch wahrscheinlich, daß die gleichen Einflüsse ähnliche Veränderungen hervorbringen; und wenn sich daher finden sollte, daß unter zwei Versuchen der aus dem zweiten Versuche hervorgehende Coëfficient bei allen Membranen in gleichem oder ähnlichem Verhältniß größer sich herausstellte, als im ersten, während doch bei der einen Membran die Concentration der inneren Lösung das zweite Mal höher, dagegen bei einer andern geringer gewählt wurde, so würde hieraus zu schliessen seyn, daß die Unregelmäßigkeit in der Veränderung der Membranen ihren Grund hat und nicht mit den der Rechnung zu Grunde gelegten Gesetzen im Widerspruch steht. In einer ähnlichen Weise wurde, wie man sehen wird, über den Einfluss der Temperatur entschieden.

§. 8. Schluss von der Berechnung des Coëfficienten A .

Von den vorstehenden Gesichtspunkten ausgehend wurde aus den Versuchen der Coëfficient A für die Geschwindigkeit des endosmotischen Salzstroms im Allgemeinen nach der Formel:

$$Ah(1+0,0336793t+0,0002209936t^2)=\frac{100a}{\frac{1}{2}(p+p')-\frac{1}{2}(q+q')} \quad (7)$$

berechnet. Der Procentgehalt der umgebenden Lösung konnte nämlich unbedenklich als constant und gleich dem arithmetischen Mittel des anfänglichen und schließlichen Procentgehaltes genommen werden, da beide immer nur höchst wenig differirten. Für die Versuche unter No. 1, 2, 8, 16 und 18 aber wurde aus den in §§. 4 und 5 angegebenen Gründen, und weil hier a gegen $\frac{pg}{100}$ beträchtlich groß ist, die Berechnung von A nach der complicirten Formel vorgenommen:

$$Ah(1 + 0,0336793t + 0,0002209935t^2) = - \frac{\beta' a}{1 + \frac{\beta' q}{100}} + \frac{100g \left(1 + \frac{\beta'(p-q)}{100 + \beta' q}\right)}{100 + \beta' q} \log \text{nat.} \frac{g(p-q)}{g(p-q) - a(100 + \beta' q)} \quad (8).$$

Die Resultate dieser Berechnung sind in der letzten Columne der Tabelle §. 3 enthalten.

Für die Versuche unter No. 21 und 22 wurde der Coëfficient A durch Multiplication mit $\left(\frac{103}{66}\right)^2$ auf gleiches Flächenmaafs der Membranen mit den vorhergehenden reducirt.

§. 9. Betrachtung der berechneten Werthe des Coëfficienten A .

Die Werthe des Coëfficienten A sind für die ersten 20 Versuche der leichteren Uebersicht halber in Fig. 7, Taf. II graphisch dargestellt, so dafs auf der Abscisse Punkte in gleichem Abstände genommen sind, welche den auf einander folgenden Nummern der Versuche entsprechen, die Länge der Ordinaten aber immer dem zugehörigen Werthe von A proportional ist. Die letzteren sind für die Membranen Ia und Ib von der Abscissenaxe xx , für die Membranen Ic und Id von der Abscissenaxe $x'x$ aus genommen. Die so entstehenden Linien müßten der Abscissenaxe parallel laufen, wenn die Gesetze, unter deren Voraussetzung A berechnet worden ist, wirklich bestätigt werden sollten und außerdem die Beschaffenheit der Membranen während der Zeit ihres Gebrauches nicht die mindeste Veränderung erlitten hätten. Es wird sich also an die Betrachtung des Laues dieser Linien eine Prüfung knüpfen, ob die vorkommenden Abweichungen sich mit Leichtigkeit aus Veränderungen der Membranen, die dann für alle ihrer gleichmäfsigen Behandlung wegen etwa gleich seyn müßten, erklären lassen, oder ob sie der Art sind, dafs man an der Richtigkeit der beiden Gesetze von der Proportionalität der Geschwindigkeit der endosmotischen Strö-

mung mit der Differenz der Procentgehalte der inneren und äußeren Lösung und von der Zunahme dieser Geschwindigkeit mit der Temperatur nach den Coëfficienten $1 + 0,0336793t + 0,0002209936t^2$ zweifeln müßte. Im letzteren Falle müßte sich zugleich herausstellen, in welcher Weise die Darstellung von dem Processe der Endosmose zu berichtigen sey.

Der Gesamtübersicht jener 80 Versuche entnimmt man nun zunächst, daß die Curven zwar nicht der Abscissenaxe parallel laufen, aber doch in so weit in einer annähernd gleichmäßigen Richtung sich bewegen, daß nicht eben bedeutende Abänderungen der als Basis dienenden Hypothese zu erwarten stehen. Im Allgemeinen nähern sie sich mit wenigen später zu besprechenden Ausnahmen sämtlich mehr und mehr der Abscissenaxe, so daß mit dem längeren Gebrauche der Membran eine abnehmende Durchlässigkeit für den endosmotischen Salzstrom sich herausstellt, daß also bereits eine Unregelmäßigkeit, welche gewissermaßen als regelmäsig und also den Beweis von der Existenz jener beiden Gesetze nicht störend anzusehen seyn wird.

Am kürzesten läßt sich nun die Frage nach dem Einfluß der Temperatur auf den Coëfficienten A zur Entscheidung bringen. Die Versuche von No. 12 an sind es hauptsächlich, welche zur Erörterung desselben unter sehr verschiedenen Temperaturen angestellt worden sind. Zunächst folgen der 12te und 13te auf einander, ohne daß die Membranen inzwischen getrocknet und wieder aufgeweicht worden wären, ohne daß also bedeutende Veränderungen mit ihnen vorgegangen seyn möchten. Nach geschehener Berechnung steigt der Coëfficient A von 12 zu 13 nur um wenige Procente; dabei ist die Temperatur in 13 um $17^{\circ},4$ höher. Genau ebenso verhält es sich zwischen No. 14 und 15, wo bei No. 15 die Temperatur um $16^{\circ},3$ höher ist. Endlich sind auch No. 18 und 19 zwei an einem Tage unter sehr verschiedenen Temperaturen angestellte Versuche und der Coëfficient A erhebt sich auch hier von

18 zu 19, während doch hier zum späteren Versuche die niedrige Temperatur gehörte. Hieraus geht entschieden hervor, daß das Ansteigen der Curven nicht in einer falschen Annahme über den Temperaturcoefficienten begründet seyn kann, sondern daß die Ursache des jedesmaligen Ansteigens der Curve in der Veränderung der Membranen zu suchen ist, deren Durchlässigkeit für den Salzstrom nach länger anhaltendem Zustande der Feuchtigkeit zunimmt, während durch das zwischen je 2 Versuchen inne liegende Trocknen diese Durchlässigkeit regelmäßig verringert wird. Ueberdies sind die Verschiedenheiten des Werthes von A nach der Division mit dem Wärmecoefficienten überraschend klein, wenn man sie mit den Werthen von A' , welche vor dieser Division gewonnen werden, vergleicht. Einigermassen kann sich jeder hiervon schon überzeugen, wenn er die Größen in der Tabelle unter a überblickt, welche in den angeführten Versuchen bei derselben Membran, derselben Versuchsdauer und nahe der anfänglichen Concentration der inneren und äußeren Lösung zwischen 0,82585 und 1,65198, also gerade um das Doppelte schwanken. Ja die Unterschiede der übergetretenen Mengen mit wechselnder Temperatur würden noch auffälliger geworden seyn, ohne nach der Berechnung ein günstigeres Resultat zu geben, wenn ich bei der höheren Temperatur jedesmal eine etwas größere Quantität g der inneren Lösung angewendet hätte, damit nicht, wie es geschehen ist, in diesen Versuchen die innere Lösung einen großen Theil der Zeit über wegen des rascher entfernten Salzes beträchtlich unter den tiefsten Concentrationsgrad herabgestiegen wäre, zu welchem sie in den Versuchen mit kälterer Temperatur sinkt. Für die Berechnung und Prüfung, welche auf diesen Umstand vollständig viel Rücksicht nimmt, war diese Vorsicht natürlich nicht nöthig. Mit vollkommener Gewissheit kann daher geschlossen werden, daß die Menge des durch Endosmose übertretenden Glaubersalzes von der Temperatur nach dem Coefficienten $1 + 0,0336793t + 0,0002209936t^2$ bestimmt wird, nach welchem sich auch die mit der Tem-

ratur wachsende Geschwindigkeit der Filtration, sey es durch gläserne Capillaren, sey es durch thierische Membranen, berechnet. (Man vergleiche hierzu meine Abhandlung in diesen Annalen Bd. XCIX, S. 337.)

Wir kommen nun zu der zweiten Frage, ob sich die Annahme bestätige, daß die Menge des übertretenden Salzes unter sonst gleichen Verhältnissen der Differenz der Procentgehalte der inneren und äußeren Lösung proportional sey. Ihr sind insbesondere die Versuche No. 1 bis 11, No. 17 und No. 20 gewidmet. Sie würde bejaht werden, wenn in dem Laufe der Curven ein etwa gleichmäßiger Gang beobachtet würde, dessen Abweichungen als von der Beschaffenheit der zu verschiedenen Versuchen gewählten Lösungen unabhängig erkannt würden. Nun zeigt sich zunächst übereinstimmend für alle vier Curven eine auffällige Erhebung bei No. 5 mit darauf folgender eben so starker Senkung. Daß diese nicht ein Gegenbeweis gegen die Richtigkeit des angenommenen Gesetzes sey, beweist der Umstand, daß ein solcher Gegenbeweis sich nicht zugleich bei Ia und Ib und nicht zugleich bei Ic und Id durch ein plötzliches Steigen und Sinken geltend machen dürfte, weil wie man aus der Tabelle sieht, die ersten beiden Cylinder und ebenso die letzten beiden in Bezug auf die innere Concentration für die drei auf einander folgenden Versuche 4, 5 und 6 gerade die Stellen gewechselt haben, alle übrigen Umstände aber sich nahe gleich verhielten. Der Grund ist daher in einer Veränderung der Membran zu suchen und dieser bietet sich entsprechend der bereits oben gemachten Bemerkung sehr einfach darin dar, daß bei No. 5 die Membran bereits den dritten Tag hinter einander sich in Flüssigkeit befand, und damit regelmäßig die Durchlässigkeit für den Salzstrom zunimmt. Die darauf folgende Senkung hat in dem Trocknen der Membranen zwischen No. 5 und 6 ihren Grund.

Unter den nicht übereinstimmenden Biegungen der Curven fällt am meisten auf die bei No. 17 und 20 in Ib und demnächst die bei No. 1 und 2 in Id. In No. 17 und 20

erwartet man nämlich ein Sinken der Linie, so wie es in Ia auch eintritt, weil die Membranen zuvor getrocknet waren, und No. 18 bezeugt in der That, daß mit Ib die gleiche Veränderung vor sich gegangen ist, als mit den übrigen Membranen. Beide Versuche haben das Gemeinsame, daß in ihnen die äußere Flüssigkeit einen beträchtlichen Salzgehalt besitzt, nämlich in No. 17 2,72280 Proc. in No. 20 4,05897 Proc. und die Lösung über Ib ist es, welcher beide Mal der nächst höhere Concentrationsgrad zukommt; sie übertrifft die äußere Lösung in No. 17 anfänglich um 1,93617 Proc. in No. 20 um 0,92909 Proc. und zum Schluß resp. um 1,63169 Proc. und 0,78500 Proc. Hiernach ist der Coëfficient A nicht eine völlig constante Größe, sondern bei gewissen geringeren Differenzen der inneren und äußeren Lösung ist er einigermaßen größer, als bei höheren. Mit Wahrscheinlichkeit kann man ferner schon auf Grund dieser beiden Versuche hinzufügen, daß A nicht fortwährend zunehme, bis der Unterschied der Procentgehalte gleich 0 ist, sondern daß es zwischen den beiden Graden der Concentrationsdifferenz jener Versuche ein Maximum erreiche, da die Abweichung der Curve Ib von Ia in No. 20 kaum merklicher ist, als in No. 17. Diese letzte Annahme steht auch mit einer großen Zahl der übrigen gegenseitigen Abweichungen der Curven im Einklang. Wenn nämlich A zwischen 2 Proc. und 1 Proc. der Concentrationsdifferenz ein Maximum erreicht und bei weiterer Abnahme merklich sinkt, so muß in No. 1 und 2 die Curve Id tief liegen, weil hier die innere Concentration weit über jenen Punkt hinabsteigt; dagegen erhebt sie sich für No. 3, weil hier die innere Concentration dem Punkte des Maximums nahezu bleibt. Aus demselben Grunde sinkt Ia und Ib in No. 3 beträchtlich, während Ic sich beinahe gleich bleibt; denn bei Ia und Ib umfaßt der Procentunterschied in No. 1 und 2 das Maximum von A mit, während er in No. 3 davon fern bleibt; bei Ic ist es dagegen jedesmal mit eingeschlossen; doch liegt in Ic die Curve für No. 1 und 2 wieder etwas tiefer als für No. 3,

weil in jenen beiden Versuchen ein großer Theil der Versuchsdauer über das Maximum hinausgriff. Auch erklärt sich jetzt der ausgezeichnet tiefe Stand aller Curven in No. 8 durch die schwachen Concentrationen der inneren Lösungen, und er würde sich wahrscheinlich schon in No. 7 eingestellt haben, wenn hier nicht die Membran durch den vorhergehenden Versuch desselben Tages durchlässiger geworden wäre.

Fragt man nun nach den Werthen selbst, welche der Coefficient A für die verschiedenen bisher besprochenen Concentrationsunterschiede annimmt, so läßt sich mit Bestimmtheit allerdings nicht darauf antworten, weil die Veränderlichkeit der Membranen die nicht sehr bedeutenden Unterschiede von A zum Theil verdeckt. Folgendes wird sich aber als annähernd richtiges Ergebniss rechtfertigen lassen. Der Coefficient A bleibt von einem Unterschiede der Procentgehalte von 9 Proc. bis gegen 2 Proc. nahe gleichmäÙig und erhebt sich nur wenig; von da an steigt er etwas schneller und erreicht zwischen 2 Proc. und 1 Proc. jener Differenz ein Maximum, von wo an er gegen 0 hin schnell wieder fällt. Wenn man die Punkte 16 und 18 der Curve Ib durch eine gerade Linie verbindet, so findet man, daß der mittlere Werth, welcher sonst für No. 17 zu erwarten gewesen, gleich 5,1 mithin der wirkliche Werth von A gegen diesen mittleren um 15 Proc. erhöht ist; und in No. 1 und 2 bleibt der Coefficient A für Id um 10 Proc. unterhalb des bei No. 3 erreichten Werthes.

Für die Versuche No. 9, Ia und Id und No. 11, Ia, Ib und Id ist der Coefficient A nicht berechnet worden, weil hier anstatt der inneren Lösung krystallirtes Salz in den Cylinder gebracht worden war. Hätte ich nun auch hier für den Procentgehalt eine gesättigte Lösung in Rechnung bringen wollen, so kam noch die Schwierigkeit hinzu, daß bei der etwas ausgebuchteten Gestalt der Membran die Salzkristalle in den letzten Stunden des Versuchs nur auf den tiefsten Punkten der Membran auflagen, an den höheren Punkten bildet sich daher alsbald eine diluirtere

Lösung, die sich mit den tieferen Schichten wegen des geringeren specifischen Gewichts nicht ausglich; und selbst wenn ich durch sanftes Schütteln dafür sorgte, daß die Krystalle sich auf verschiedene Punkte der Membran vertheilten und die Lösung einen gleichmäßigeren Procentgehalt annahm, so war dieß nur eine unvollkommene Ausbülfe. Berechnet man rückwärts nach der Formel die erforderliche Differenz der Procentgehalte, welche der beobachteten übergetretenen Salzmenge entspricht, so findet sich dieselbe für 9 Ia = 7,414, für 9, Id = 6,775, für 11, Ia : 7,692, für 11, Ib 5,395, für 11, Id 5,231. Da alle diese Werthe gewiß kleiner sind als der wirkliche Werth von $\frac{1}{2}(p + p') - q$, so dürfte hieraus hervorgehen, daß man beim Vorhandenseyn krystallisirten Salzes im Cylinder A einen merklich tieferen Werth hat, als wenn man gesättigte Lösung oder Lösungen von tieferem Procentgehalte als innere Lösung anwendet.

Die Werthe von A für No. 17 und 20 in den Membranen Ic und Id sind, um die Uebersichtlichkeit nicht zu stören, nicht mit in die graphische Darstellung aufgenommen worden. Sie sind um sehr vieles kleiner als die übrigen. Der Grund dieser Unregelmäßigkeit liegt auf der Hand. Da hier die umgebende Lösung concentrirter war, als die innere, so ging das Salz der Schwerkraft entgegen in den Cylinder über. Während aber nun in den übrigen Fällen das eintretende Wasser und das austretende Salz sich vermöge des geringeren und resp. höheren specifischen Gewichtes der ganzen inneren und äußeren Lösungsmasse augenblicklich gleichmäßig mittheilte, so mußte hier die Ausgleichung der übergetretenen Stoffe mit der übrigen Lösung weit langsamer vor sich gehen; es blieb daher eine dichtere Lösung unmittelbar über, eine dünnere unmittelbar unter der Membran, und die Differenz der sich zunächst berührenden inneren und äußeren Lösung war bei weitem nicht so groß, als sie nachher zufolge der Untersuchung der Gesamtmasse sich ergab und der Rechnung zu Grunde gelegt wurde. Bei solcher ge-

ringeren Differenz der Concentrationen mußte aber natürlich auch der endosmotische Strom langsamer seyn. Möglich, daß, wenn man auf irgend eine Weise, wie z. B. durch stetes Schütteln, eine fortwährende Gleichmäßigkeit der ganzen inneren und äußeren Lösungsmasse erzielt hätte, das Resultat ein anderes gewesen wäre; ich habe dieß nicht erprobt, da mir eine schickliche Methode dazu nicht beikam. So wie mein Versuch dasteht, findet er eine ganz natürliche Erklärung und dient zur Bestätigung der gewonnenen Sätze. Hr. Prof. Fick hat eine solche fortwährende Bewegung, wie aus diesen Annalen Bd. XCII, S. 333 hervorgeht, herzustellen vermocht und findet dabei das ihm auffällige Resultat, daß das Salz der Schwere entgegen die Scheidewand schneller durchsetze, als in der umgekehrten Richtung. Man kann nun freilich aus seiner kurzen Notiz die einzelnen Umstände des Versuchs nicht übersehen; doch denke ich mir die Erscheinung einfach dadurch zu erklären, daß, wenn das Rohr die gesättigte Lösung enthielt, sich ihr Procentgehalt bei ihrer jedenfalls geringeren Quantität durch den Austritt des Salzes und Eintritt des Wassers rascher veränderte, als dieß anderenfalls mit der umgebenden Flüssigkeit der Fall war, wenn diese die gesättigte Lösung darstellt. Der abnehmende innere Procentgehalt mußte aber in jenem Falle nothwendig eine geringere Endosmose herbeiführen. Und doch scheint Hr. Fick den schließlichen Procentgehalt der Lösungen bei Beurtheilung der Geschwindigkeit der Endosmose nicht mit in Anschlag gebracht zu haben.

Die Curve Fig. 8 Taf. II stellt den ungefähren Verlauf des Coëfficienten A dar, wie er aus den Versuchen 1 bis 20 hervorgeht; die Abscissen bedeuten den Unterschied der Procentgehalte der inneren und äußeren Lösung, die Ordinaten die zugehörigen Werthe von A . Wahrscheinlich setzt sich die Curve in gleichmäßiger Weise nach der Seite der concentrirteren Lösungen fort, soweit solche bei höheren Temperaturen möglich sind; doch muß man we-

nigstens für den Fall der Gegenwart krystallisirten Salzes ein schnelleres Sinken annehmen.

Was endlich die verschiedene Geschwindigkeit des endosmotischen Salzstromes für verschiedene Membranen anlangt, so besteht schon für die vier, zu den ersten 20 Versuchen benutzten Stücke desselben Herzbeutels eine bedeutende Verschiedenheit; ja sie ist auch für dieselbe Membran in verschiedenen Stadien ihres Alters, wie bereits erwähnt worden, verschieden. Der Coëfficient A nimmt nämlich von No. 3 bis No. 18 ab:

für Ia	von 7,84	bis 5,35
» Ib	» 6,12	» 4,30
» Ic	» 5,98	» 5,24
» Id	» 6,80	» 5,78.

Für die übrigen thierischen Membranen hält er sich übrigens etwa zwischen denselben Gränzen, ohne dafs ein Einfluß der Dicke der Membran zu bemerken wäre. Denn er ist für II (Herzbeutel) 4,76 bis 4,70, für III (Herzbeutel) 6,49 bis 5,75, für IVa (Schweinsblase) 5,77 bis 4,86 für IVb (Schweinsblase) 6,90; endlich für Va und Vb (Kalbsblase) 5,87 und 4,61. Dagegen ist er für VI (Reispapier) ansehnlich gröfser, nämlich 9,93 und 11,40.

§. 10. Berechnung der Geschwindigkeit der Endosmose
des Wassers zum Salz und des endosmotischen
Aequivalents β .

Für den Uebergang des Wassers zum Salz kann man eine ähnliche Berechnung ausführen, wie für den des Salzes zum Wasser. Die Differentialformel

$$\begin{aligned}
 9) \quad \partial x &= B \left\{ \frac{\frac{pg}{100} - \frac{x}{\beta}}{g + x \left(1 - \frac{1}{\beta}\right)} - \frac{9}{100} \right\} \partial y \\
 &= B \left\{ \frac{\frac{\beta pg}{100} - x}{\beta g + \beta' x} - \frac{9}{100} \right\} \partial y
 \end{aligned}$$

unterscheidet sich von der Differentialformel (4) in §. 5

nur dadurch, daß der constante Factor B an Stelle von A und βg an Stelle von g tritt. Daher folgt durch Integration zwischen den Gränzen $x=0$ und $x=b$ ebenso wie dort

$$10) \quad Bh = - \frac{\beta' b}{1 + \frac{\beta' q}{100}} + \frac{100(\beta g + \frac{\beta \beta' g(p-q)}{100 + \beta' q})}{100 + \beta' q} \log \text{nat.} \frac{\beta g(p-q)}{\beta g(p-q) - b(100 + \beta' q)}$$

Da in der Berechnung von A immer $b = \beta a$ genommen worden ist und man dasselbe hier zu thun genöthigt ist, so vereinfacht sich offenbar (10) in

$$11) \quad B = \beta A$$

die GröÙe β , welche das sogenannte endosmotische Aequivalent, oder das Verhältniß der Gewichtsmengen an Salz und Wasser ausdrückt, die in jedem Momente sich endosmotisch austauschen, war für jeden einzelnen Versuch gleich dem Quotienten der ganzen in demselben gewanderten Gewichtsmengen $b : a$ gesetzt worden, unter der Annahme, daß sich dasselbe innerhalb der Dauer des Versuchs nicht ändere. Damit die letztere Voraussetzung an sich an Wahrscheinlichkeit gewinne, sind die Versuche so angestellt worden, daß die Umstände, welche etwa jenes Verhältniß modificiren könnten, möglichst gleichartig bleiben. Es wurde also namentlich eine gleichmäßige Temperatur erhalten und es wurde die Dauer der meisten Versuche so weit beschränkt, daß die innere Concentration zum Schluss sich von der anfänglichen nicht zu sehr unterschied. Ist nun ein solcher Einfluß vorhanden, so muß er sich durch eine Vergleichung der Werthe von β ergeben, welche aus den mit derselben Membran angestellten, entweder durch ihre Temperatur oder durch ihre Concentrationen verschiedenen Versuchen hervorgehen. Im Folgenden ist eine solche Discussion der bereits in der Tabelle des §. 3 unter Rubrik β angeführten Werthe enthalten. Vorausgeschickt muß aber werden, daß dieser Theil der Untersu-

chung nicht auf den Grad der Genauigkeit Anspruch macht, als der vorübergehende, das Salz betreffende, weil trotz aller Vorsichtsmafsregeln und trotz der möglichst geschwinden Ausführung der Wägungen bei den grofsen Oberflächen der Flüssigkeit und namentlich der Membranen einige Verdunstung nicht vermieden werden konnte. Diese konnte unter gewöhnlichen Umständen bis zu 3 Centigramm betragen und machte schon dann in Versuchen, wie No. 7, Ia und Ic, No. 8, Ic und No. 17, Ic etwas Ansehnliches aus. Der Verlust wurde aber noch bedeutender, wenn die Temperatur des Apparates über die der Umgebung erhöht war. In dem einen Fall bei No. 15, wo zufällig schlechter gegen die Verdunstung gesorgt war, konnte ich namentlich sehen, wie die inneren Wände des Cylinders mit niedergeschlagenen Wasserbläschen bis zum Rande besetzt waren und sicher ein grofser Theil der Wasserdämpfe durch die schlecht schließenden Pappdeckel entwichen war; auch verdunstete in solchen Fällen natürlich während der Wägung eine weit gröfsere Quantität. Die Bestimmung des gewanderten Salzes alterirte dies nicht, weil jedesmal die Flüssigkeit, nachdem ihre Menge im letzten Momente der Wägung gefunden, augenblicklich in ein verschlossenes Gefäfs gebracht und erst später nach ihrer Abkühlung ihr specifisches Gewicht untersucht wurde. Daher kommt es, dafs die berechneten Werthe von A zuverlässiger sind, als die von β . Gleichwohl glaube ich auch mit diesen letzteren mit den früheren Forschern in die Schranken treten zu dürfen.

§. 11. Betrachtung der Werthe von β .

In Fig. 9 Taf. II sind die Werthe $\beta = \frac{b}{a}$ graphisch zusammengestellt, so dafs die Punkte auf der Abscissenaxe die auf einander folgenden Versuchsnummern und die Ordinaten der zugehörigen Werthe des endosmotischen Aequivalents ausdrücken. Die Curve für die Membran Ia ist von der Abscissenaxe $x'x'$, für Ib von $x''x''$, für Ic von $x'''x'''$, für Id von $x^{IV}x^{IV}$ aus genommen.

Man kann zunächst bemerken, daß die Temperatur auf das endosmotische Aequivalent ohne Einfluß zu seyn scheint, denn für die zusammenhängenden Versuche 12 und 13, so wie 18 und 19 bleiben die Curven trotz der großen Unterschiede der Temperatur der Abscissenaxe fast parallel; nur in No. 18, I_c ist eine bedeutende Senkung der Curve wahrzunehmen, was jedenfalls dem Verdunstungsverluste zuzuschreiben ist, der sich hier und noch mehr in No. 18 I_d , welches deshalb gar nicht in die Zeichnung mit aufgenommen worden ist, wegen der geringeren absoluten Mengen des gewanderten Wassers besonders geltend machte. Aus demselben Grunde sind für No. 15, wo der Verdunstung zufällig schlechter vorgebeugt worden war, die Werthe von β nicht berechnet worden, um nicht die Uebersichtlichkeit der übrigen Versuche zu stören.

Nicht völlig ohne Einfluß ist der Concentrationsgrad der Flüssigkeiten. Wenigstens ist für den einen Fall, wo die Stelle der inneren Flüssigkeit krystallisirtes Salz vertritt, das endosmotische Aequivalent entschieden größer. Dies geht aus dem Versuche No. 11 hervor, wo bei den Membranen I_a , I_b , I_d mit krystallisiertem Salz operirt ward und das endosmotische Aequivalent zu den beiden benachbarten sich verhält wie etwa 8:10,8, während für die Membran I_c , welche eine diluirtere Lösung enthielt, das endosmotische Aequivalent seinen tiefen Stand bewahrt. Es wird auffällig seyn, daß nicht auch bei No. 9, I_a und I_d die Erscheinung sich wiederholt. Hierfür müssen folgende Gründe angegeben werden. Da ich nicht, wie später bei No. 11, dafür gesorgt hatte, daß das Salz auf der ganzen Fläche der Membran möglichst gleichmäßig vertheilt war, sondern sich dasselbe zum größten Theile in den mittleren tiefer ausgebuchteten Punkten befand, so kam, obgleich der Versuch sogleich abgeschlossen wurde, als das letzte krystallisirte Salz verschwunden war, lange vor Ende des Versuchs, ja fast die ganze Versuchsdauer über, die äußere Flüssigkeit namentlich an den Randstellen der Membran mit einer diluirteren Lösung in Berührung. Daher

auch die schließliche Concentration sich gleich 3,9 Proc. und 4,9 Proc. fand, welches bei 11° C. bei weitem nicht die gesättigte ist. Dieser Umstand wurde um so wirksamer, als ich bei diesem ersten Versuche mit krystallisirtem Salz nicht ursprünglich eine solche Quantität angewandt hatte, daß die Flüssigkeit nachher für eine genaue specifische Gewichtsbestimmung hingereicht hätte; daher fügte ich im Verlauf des Versuches später eine zweite Quantität Salz hinzu, nachdem die Flüssigkeit schon ziemlich diluirt geworden seyn mochte. Dieser Versuch ist also für die Bestimmung des endosmotischen Aequivalents nicht als entscheidend anzusehen; doch wollte ich ihn nicht auslassen, weil er im übrigen seine Dienste thut und ich überhaupt die Glaubhaftigkeit meiner Untersuchungen nicht dadurch schmälern wollte, daß ich irgend einen Versuch von etwa unerwünschtem Resultate ausgelassen hätte. Ich denke es erhöht den Werth der gesamten Schlüsse, wenn ich bei dieser Gelegenheit versichere, daß auch nicht ein Versuch aus der ganzen Reihe unterdrückt worden ist.

Was nun die Fälle anlangt, wo die innere Lösung hohe Procentgehalte besaß, so ergibt sich aus den Versuchen nicht, daß hier wie beim krystallisirten Salz das endosmotische Aequivalent höher sey als bei geringeren Procentgehalten; im Gegentheil zeigt sich in No. 4 verglichen mit No. 3 bei Ia und Ic für einen geringeren Procentgehalt ein größeres, und bei Ib und Id für einen höheren Procentgehalt ein geringeres endosmotisches Aequivalent. Ganz die nämliche Erscheinung wiederholt sich in No. 6; und für No. 9, Ic, wo eine möglich starke Lösung zur Anwendung kam, ist der Werth von β auch tiefer als in den beiden benachbarten Versuchen. Auch spricht das, was vorhin über die Versuche No. 9, Ia, Ib, Id bemerkt werden mußte, dafür, daß die auf die Gegenwart des krystallisirten Salzes folgenden stärksten Concentrationen plötzlich ein weit tieferes endosmotisches Aequivalent des krystallisirten Salzes veranlassen; deshalb konnte dort das hohe Aequivalent der krystallisirten Salze durch das niedrige der

starken Concentrationen, welche lange genug wirksam waren, verdeckt werden. Ferner zeigt sich auch für No. 7, wo in allen Cylindern sehr diluirte Lösungen zur Anwendung kamen, durchgängig ein größerer Werth von β , welcher sich auch nahezu in No. 8 bei ähnlichen Procentgehalten erhält.

Man wird berechtigt seyn hieraus den Schluss zu ziehen, dafs, wenn die äufsere Flüssigkeit Wasser ist, zwar für krystallisirtes Salz das endosmotische Aequivalent einen größten Werth hat, dafs dasselbe aber, wenn kein krystallisirtes Salz gegenwärtig ist, plötzlich einen weit geringeren Werth annimmt und sich erst mit abnehmender Concentration wieder erhebt.

Die Fälle, wo die äufsere Lösung eine beträchtliche Concentration besafs, No 17 und 20, lassen einen besonderen Einflufs dieses Umstandes auf die Gröfse des endosmotischen Aequivalents nicht erkennen. Es kommen hier nämlich zunächst nur die Versuche mit Membran Ia und Ib in Betracht, wo noch ein bedeutender Unterschied der inneren und äufseren Concentration in der Nähe der Membran bestand; für diese stellt sich ein Steigen der Curve β ein, welches aber zum Theil von zunehmendem Alter der Membranen herzurühren scheint, das überhaupt wie man sieht das endosmotische Aequivalent größer werden läfst, zum Theil wird diefs Steigen der Curve auf die geringere Differenz der Procentgehalte zu rechnen seyn, namentlich bei No. 20, Ib, und also diese Erscheinung analog der seyn, dafs auch bei Wasser als umgebende Flüssigkeit das endosmotische Aequivalent für diluirtere innere Lösungen zunimmt.

Was der gleichzeitigen Versuche an Membran Ic und Id anlangt, so sind die Umstände hier insofern verändert, als die innere Lösung die diluirtere war. Da das eingetretene Salz wegen seines specifischen Gewichtes nicht schnell genug in die Höhe stieg, so bildete sich in Berührung mit der Membran alsbald eine Lösung, welche der äufseren ähnlich seyn mußte. Es fallen also diese Versuche in die Kategorie derer, wo der Procentgehalt der inneren und

äußeren Lösung nur wenig verschieden sind; und wenn hierbei ein hohes endosmotisches Aequivalent auftritt, so ist dies in Uebereinstimmung mit der Erscheinung, daß bei sehr schwachen inneren Lösungen und Wasser als umgebende Flüssigkeit gleichfalls ein hohes endosmotisches Aequivalent gefunden wurde. Natürlich macht sich dieser Einfluß der äußeren Lösung um so mehr geltend, je ähnlicher sie ursprünglich der inneren ist.

Fig. 10, Taf. II giebt eine ungefähre Uebersicht über die Veränderung des endosmotischen Aequivalents mit der Differenz der inneren und äußeren Procentgehalte. Letztere ist als Abscisse, ersteres als Ordinate gezeichnet; das dem krystallisirten Salze zugehörige Aequivalent ist der Abscisse von 9 Proc. zunächst angeschlossen, weil dies die höchste in meiner Versuchsreihe vorkommende Differenz der Procentgehalte war; damit soll jedoch nicht ausgeschlossen werden, daß für stärker concentrirte Lösungen die Curve sich zuvor in ähnlicher Weise fortsetze, als in dem unmittelbar vorhergehenden Theile.

Wirft man noch im Allgemeinen einen Blick auf den Lauf der Curven in Fig. 9, Taf. II, so bemerkt man, daß sie gegen das Ende hin allmählich steigen, während die Curven von A Fig. 7, Taf. II allmählich fielen. Mit dem Alter der Membran wächst also das endosmotische Aequivalent. Da $B = \beta A$, so wird man schon erwarten, daß die Werthe von B sich mehr gleich bleiben. Dies beweist auch Fig. 11, Taf. II, in der wenigstens für Ia und Ib die Curven von B entworfen sind. Doch kann ich, wie oben bemerkt, den beobachteten Werthen von b nicht die Genauigkeit beilegen, wie denen von a ; daher habe ich jene Untersuchung nicht weiter verfolgt. Man kann hierzu noch bemerken, daß selbst für den Versuch No. 11 der Werth von B ein mittlerer seyn würde, weil A , wie man oben gesehen hat, einen niedrigsten und β einen höchsten hat. Es konnte aber wegen des fehlenden Maafsstabes für die Größe der inneren Concentration für diesen Versuch B nicht berechnet und graphisch mit aufgenommen werden,

so wenig dies bei *A* möglich gewesen ist. Etwas ähnliches gilt für die Versuche No. 17 und 20 bei *Ic* und *Id*.

Was die Verschiedenheit des endosmotischen Aequivalents für verschiedene Membranen anlangt, so ist in den Versuchen mit thierischen Häuten nicht zu bemerken, daß dasselbe in einer Abhängigkeit von dem Coëfficienten *A* und der Geschwindigkeit der Endosmose sich befände, nur daß im Allgemeinen bei jeder einzelnen Membran mit zunehmendem Alter das endosmotische Aequivalent allmählich zunimmt, während die Geschwindigkeit der Endosmose allmählich abnimmt. Dagegen zeigt die pflänzliche Membran bei bedeutender Geschwindigkeit der Endosmose auch ein großes endosmotisches Aequivalent.

§. 12. Kurze Wiederholung der hauptsächlichsten Resultate.

1. Die Geschwindigkeit des Uebertritts des Glaubersalzes zu diluirten Lösungen ist in jedem Augenblick unter sonst gleichen Verhältnissen mit geringen Abweichungen dem Unterschiede der Procentgehalte der dichteren und weniger dichten Lösung proportional. Diese Abweichungen deuten darauf hin, daß der Coëfficient *A* der Formel (8) §. 8 einen kleinsten Werth hat, wenn sich über der Membran krystallisirtes Salz statt einer Lösung befindet, daß er dann vom Sättigungspunkte der Lösung an mit abnehmender Concentration ziemlich constant bleibt, vor einer Differenz der Procentgehalte von 2 Proc. anfängt schneller zu steigen, zwischen 2 Proc. und 1 Proc. ein Maximum erreicht und von da an mit abnehmender Differenz der Concentrationen schnell sinkt. Vergleiche Figur 8, Taf. II.

2. Die Geschwindigkeit der Endosmose unterliegt bei wechselnden Temperaturen Veränderungen, welche durch denselben Coëfficienten $1 + 0,0336793t + 0,0002209936t^2$ bestimmt werden, nach welchem auch die Zunahme der Ausflusgeschwindigkeit aus gläsernen Capillarröhren (*Poiseuille, Recherches experimentales etc. in Mém. prés. de*

l'Inst. math. et phys. Vol. IX, p. 433 und diese *Annalen* Bd. LVIII, S. 424), so wie der Filtrationsgeschwindigkeit durch thierische Membranen (meine Abhandlung in diesen *Annalen* Bd. XCIX, S. 337) berechnet wird.

3. Das endosmötische Aequivalent bleibt sich für die mittleren Werthe der Differenz des inneren und äusseren Procentgehaltes nahe gleich und steigt langsam für abnehmende Werthe dieser Differenz. Für sehr geringe Werthe derselben dagegen erhebt es sich schnell zu bedeutender Höhe. Andererseits nimmt es auch, wenn sich krystallisirtes Salz über der Membran befindet, plötzlich einen um etwa 30 Proc. höheren Werth an. Vergleiche Fig. 10, Taf. II.

4. Die Temperatur hat auf den Werth des endosmotischen Aequivalents keinen merkbaren Einfluß.

V. *Das Telestereoskop; von H. Helmholtz.*

(Vorgetragen in der Sitzung der niederrheinischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde vom 10. Juni 1857¹⁾)

Das Netzhautbild jedes einzelnen menschlichen Auges stellt eine perspectivische Projection der im Gesichtsfelde befindlichen Gegenstände dar. Da der Standpunkt, von welchem diese Projection aufgenommen ist, für beide Augen desselben Individuum etwas verschieden ist, sind auch die beiden perspectivischen Bilder selbst nicht ganz identisch, und ihre Verschiedenheiten benutzen wir, wie die stereoskopischen Versuche lehren, um uns daraus ein Urtheil über die verschiedene Entfernung der dargestellten Objecte vom Auge zu bilden. Nun sind die Abbildungen desselben Gegenstandes auf beiden Netzhäuten desto mehr von einander verschieden, je näher der Gegenstand den Augen steht. Bei sehr entfernten Gegenständen gegen deren Entfernung die Distanz der Augen verschwindend klein ist,

1) Eine vorläufige Notiz gab schon Bd. 101, S. 494.

(P.)

verschwindet auch der Unterschied der Bilder, und für solche geht uns also dieses Hilfsmittel, die Entfernungen der Gegenstände zu schätzen und ihre körperliche Gestalt zu erkennen, verloren.

Man kann sich davon namentlich an fernen Gegenständen von unregelmäßiger Form, z. B. den die Aussicht begrenzenden Bergzügen, überzeugen. Die letzteren erscheinen stets wie eine uns kreisförmig umgebende, am Horizont gerade aufsteigende Wand; wir erkennen nichts von den Wölbungen, Einschnitten, verschiedenen hinter einander liegenden Ketten der Berge, wenn uns nicht Schlagschatten, Luftperspective oder eine genaue schon früher erworbene Kenntniß ihrer Form zu Hülfe kommen. Bei Gegenständen von unregelmäßiger Form, Gebäuden u. s. w. genügt dem Vorstellungsvermögen schon eher eine einzige perspectivische Ansicht, um sich die nach der Tiefe des Bildes gerichteten Dimensionen ziemlich gut zu ergänzen.

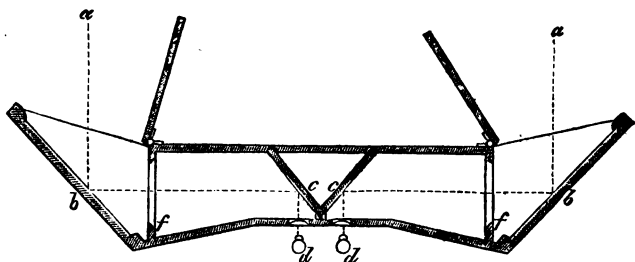
Bei den stereoskopischen Landschaftsbildern, welche jetzt viel durch Photographie erzeugt werden, ist nun diesem Mangel dadurch abgeholfen, daß der Photograph für die zweifache Aufnahme der Landschaft, sich zwei beliebig weit von einander entfernte Standorte wählen, und daher jedenfalls zwei hinreichend von einander verschiedene perspectivische Projectionen der Gegend verschaffen kann. Der Beschauer glaubt dann im Stereoskope ein verkleinertes Modell der Landschaft zu sehen, dessen Dimensionen sich zu denen der Landschaft verhalten, wie die Augendistanz des Beobachters zur Distanz der beiden Standorte der photographirenden *Camera obscura*.

Daher erklärt sich, daß diese stereoskopischen Bilder eine viel deutlichere Vorstellung von der Form der Landschaft geben, als die Betrachtung der wirklichen Landschaft wenigstens einem durchreisenden Fremden gewährt, der die einzelnen Objecte der Landschaft nicht schon so genau kennt, wie die Einwohner. Städte, welche von einem hohen Punkte aus dem Beschauer als ein wüster Haufen von Dächern erscheinen, lösen sich im stereoskopischen

Bilde auf in die einzelnen, von den Strafsen eingeschalteten Vierecke; man erkennt die relative Höhe der Häuser, die Breite der Strafsen u. s. w. Dem entsprechend finde ich, dafs man von den riesigen Dimensionen der Hochalpen im Stereoskop oft einen besseren Begriff bekommt, als auf einer Alpenreise, weil derjenige, welcher solcher Bergreisen und Bergansichten ungewohnt ist, die Berge sich meist zu nahe und demgemäfs zu klein vorstellt, theils wegen des Mangels der Luftperspective, theils weil er so grofse Dimensionen zu beurtheilen nicht geübt ist. Nur indem er die Mühseligkeit des Steigens durchmacht, und nach einander dieselben Berge von verschiedenen Standpunkten aus sieht, bildet er sich eine Art von unvollkommenem Urtheil über ihre Gröfse. Noch sind offenbar die Vorthelle, welche das Stereoskop in dieser Beziehung gewähren kann, wenig ausgebeutet, weil die Photographen im Ganzen eine gröfsere Distanz der Aufnahmepunkte mit Unrecht zu scheuen scheinen. Es läfst sich einsehen, dafs man z. B. genaue körperliche Bilder der unnachbarsten Theile der Hochalpen wird erhalten können, wenn man sich für die photographische Aufnahme passende Standpunkte sucht, welche einige tausend Fufs aus einander liegen. Bei der Betrachtung guter Modelle dieser Berge habe ich immer gefunden, dafs ich mir durch die landschaftlichen Ansichten auf Reisen sehr ungenügende Vorstellungen von den Berggruppen gemacht hatte. Ich hatte sie mir im Allgemeinen zu nah an einander gedrängt, und ihre Grundflächen zu schmal vorgestellt. Darin liegt auch wohl der Grund, warum uns Bergmodelle mit übertriebenen Höhen meist besser gefallen als solche mit richtigem Höhenverhältnisse. Erstere sind der falschen Vorstellung, die wir uns bei flüchtigen Reisen durch die Gebirge zu bilden pflegen, mehr entsprechend als letztere.

Einen Theil der Vorthelle, welche die stereoskopischen Photographien gewähren, kann man sich auch bei der directen Beschauung einer Landschaft verschaffen, mittels eines einfachen Instruments, welches ich *Telestereoskop* ge-

nannt habe. Der Zweck desselben ist, dem Beschauer zwei Bilder der Landschaft stereoskopisch vereinigt zu zeigen, welche zwei Standpunkten entsprechen, deren Distanz die der menschlichen Augen beträchtlich übertrifft. Die bestehende Figur zeigt einen mittleren horizontalen Durchschnitt des Instruments in $\frac{1}{11}$ seiner natürlichen Gröfse.



Die wesentlichen Theile davon sind vier Spiegel *b, b* und *c, c*, welche senkrecht in einem gemeinsamen hölzernen Kasten, und unter 45° gegen die längsten Kanten desselben geneigt befestigt sind. Die äußeren Spiegel *b* müssen groß, die inneren *c* können klein seyn, alle müssen von den best geschliffenen dicken Platten genommen seyn, die man unter den käuflichen Spiegeln findet, damit sie nicht verzerrte Bilder geben. Das von dem fernen Objecte kommende Licht wird auf den Wegen *abcd* zwei Mal unter rechten Winkeln reflectirt, und fällt bei *dd* in die beiden Augen des Beobachters. Bei *ff* sind Diaphragmen angebracht, um zu verhindern, daß anderes Licht in die Augen des Beobachters gelange, als was zweimal reflectirt ist. In den Oeffnungen des Kastens, durch welche der Beobachter hineinblickt, ist es zweckmäßig zwei ganz schwache Concavgläser von 30 bis 40 Zoll Brennweite einzusetzen, weil die meisten Augen sehr entfernte Gegenstände nicht ganz deutlich sehen, worauf es hier gerade ankommt. So schwache Gläser hindern auch normalsichtige Augen nicht, deutlich zu sehen.

Für Laien ist es wohl rathsamer die Spiegel festzustellen, wie es in der Zeichnung angenommen ist; für gewisse

physikalische Versuche, namentlich um nahe Gegenstände beobachten zu können, ist es nützlich die vier Spiegel um senkrechte Axen drehbar zu machen.

Jedes Auge des Beobachters sieht in dem kleinen Spiegel seiner Seite den großen, und in dem großen die Landschaft gespiegelt, letztere aber erblickt er in einer solchen perspectivischen Projection, wie sie von den beiden großen Spiegeln bb aus erscheint, wodurch natürlich viel größere Verschiedenheiten der beiden perspectivischen Ansichten hervorgebracht werden, als die beiden Augen des Beobachters bei unmittelbarer Betrachtung der Landschaft gewähren. Um den Standpunkt genau zu bestimmen, von denen die Landschaft hierbei betrachtet wird, muß man sich die von den zwei Spiegelpaaren entworfenen Bilder der Augen des Beobachters suchen, welche in der Figur in der Verlängerung der Linien ab liegen würden, über b hinaus, und zwar von b um $bc + cd$ entfernt. Durch das Instrument wird also die Augendistanz des Beobachters bis zur Größe bb künstlich vergrößert.

Dem Beobachter erscheint die Landschaft durch das Telestereoskop wie ein verkleinertes Modell. Es ist dabei einerlei, ob in dem Instrumente Concavgläser angebracht sind oder nicht. Alle nicht zu entfernten Theile der Landschaft bekommen dasselbe körperliche Ansehen, wie im Stereoskop, und behalten dabei den ganzen Reichthum ihrer natürlichen Farben, so daß Bilder von überraschender Zierlichkeit und Eleganz entstehen.

Fernere Gegenstände erscheinen allerdings platt, lösen sich aber doch noch von ihrem Hintergrunde ab, so z. B. Berge, die eine halbe Meile entfernt sind, vom Himmel. Wie auf den stereoskopischen Photographien, ist auch im Telestereoskop der Anblick von Baumgruppen sehr überraschend, weil sich die einzelnen Wipfel und in jedem Wipfel die einzelnen Zweige vollständig von einander lösen. Auch niedrig ziehende Wolken scheinen in dem Instrumente häufig viel körperlicher, und mehr von einander getrennt, als dem freien Auge.

Je größer der Abstand der beiden größeren Spiegel ist, desto weiter hinaus in die Ferne zeigt das Instrument die körperlichen Formen der Objecte. Größere Spiegel geben ein größeres Gesichtsfeld. Will man daher auf irgend einem Aussichtspunkte das Instrument feststehend anbringen, um die Aussicht dadurch betrachten zu lassen, so wird es vortheilhaft seyn, die Dimensionen der Spiegel und ihren Abstand möglichst zu vergrößern, und das Ganze auf einen drehbaren Tisch zu stellen. Für gewöhnlich ist es bequem die größte Länge des Instruments nicht größer als die Breite eines Fensters zu machen, damit man es vom Zimmer aus gebrauchen könne. Uebrigens erhält man einen großen Theil der Effecte auch mit kleineren Instrumenten, in denen der gegenseitige Abstand der Spiegel viel geringer ist.

Physiker, welche in Anstellung optischer Versuche geübt sind, können sich übrigens eine telestereoskopische Ansicht der Landschaft verschaffen, ohne eines weiteren Apparates zu bedürfen, als eines großen und eines kleinen Spiegels. Den großen Spiegel hängt man so auf, daß man unter 45° in ihn hineinblickend die Landschaft sehen kann, stellt sich in der genannten Richtung einige Fuß von ihm entfernt auf, und hält den kleinen Spiegel dem großen parallel, vor dasjenige Auge, welches der Ebene des großen Spiegels am nächsten ist. Wenn also z. B. die rechte Seite des Beschauers dem großen Spiegel, näher ist, betrachte er mit dem rechten Auge die Landschaft im kleinen Spiegel, mit dem linken im großen, bringe beide Bilder der Landschaft zum Decken, und er wird denselben optischen Effect haben, wie im Telestereoskope.

Man kann hierbei aber nur schwer verschiedene Stellen der Aussicht nach einander zur Beobachtung bringen, und nähere Gegenstände erscheinen dem linken Auge in geringerer scheinbarer Größe als dem rechten.

Um nahe Gegenstände im Telestereoskop betrachten zu können, muß man die Spiegel um ihre senkrechten Axen drehen können, so daß die Winkel zwischen ihrer Fläche

und der Längskante des Kastens etwas gröfser als 45° werden. Die Objecte erscheinen dann stark verkleinert, ebenfalls mit sehr auffallend hervortretendem Relief. Wenn man blofs die grofsen Spiegel dreht, die kleinen aber unter den Winkel von 45° stehen läfst, erhält man sogar übertriebenes Relief. Sollen die Dimensionen in Richtung der Tiefe des Gesichtsfeldes zu denen in der Fläche des Gesichtsfeldes das richtige Verhältnifs behalten, so mufs man die kleinen Spiegel den grofsen stets parallel stellen. Auch der Anblick naher Gegenstände, namentlich menschlicher Figuren, im Telestereoskope ist sehr überraschend und zierlich. Der Eindruck unterscheidet sich von der Verkleinerung durch Concavgläser wesentlich dadurch, dafs man nicht nur verkleinerte Bilder, sondern wirklich verkleinerte Körper vor sich zu sehen glaubt.

Vergröfserungen lassen sich mit dem Telestereoskop leicht verbinden, der Beobachter braucht nur unmittelbar zwischen seine Augen und die kleinen Spiegel ein doppeltes Opernglas zu bringen; noch vortheilhafter für das Gesichtsfeld ist es die Oculare und Objective des Opernglases herauszunehmen und im Telestereoskop so zu befestigen, dafs das Licht auf jeder Seite erst den grofsen Spiegel, dann das Objectiv, dann den kleinen Spiegel, endlich das Ocular trifft, so dafs dabei die optische Axe des Fernrohrs selbst unter einem rechten Winkel gebrochen wird. Je stärker die Vergröfserung ist, desto gröfsere Anforderungen mufs man natürlich an die Genauigkeit der Planspiegel machen, aber man braucht sie dann auch nicht gröfser als die Objectivgläser der Fernröhre zu wählen.

Dergleichen zugleich teleskopische und stereoskopische Bilder übertreffen wiederum die gewöhnlichen Bilder eines einzelnen Teleskops ausserordentlich an Lebendigkeit. Bei den einfachen teleskopischen Bildern schwindet die Anschauung verschiedener Entfernung ganz und gar, die Gegenstände sehen vollständig so aus, als wären sie auf eine ebene Tafel gemalt. Durch die bei dem Galilei'schen Fernrohre jetzt sehr gebräuchliche Verbindung von zwei Fern-

röhren erhält man allerdings für die näheren Gegenstände eine gewisse Anschauung des Reliefs, weshalb die doppelten Operngläser schon einen viel lebendigeren Eindruck geben als ein einzelnes. Aber bei der gebräuchlichen Construction dieser Instrumente ist das Relief falsch, die Gegenstände erscheinen nach der Tiefendimension des Gesichtsfeldes zu kurz, als wären sie plattgedrückt. Bei menschlichen Gesichtern, zu deren Betrachtung die doppelten Operngläser doch hauptsächlich bestimmt sind, ist dies sehr auffallend. Wenn man sie von vorn betrachtet, sehen sie viel platter aus, als sie sind, und wenn man sie im Profil erblickt, sehen sie zu schmal und spitz aus. In beiden Fällen wird der Ausdruck des Gesichts wesentlich verändert.

Wenn man ein doppeltes Opernglas umdreht, und durch die Objectivgläser hineinsieht, erscheinen dagegen die Tiefendimensionen der Gegenstände unverhältnißmäßig vergrößert. Während also durch ein einfaches Fernrohr alle Gegenstände wie Gemälde erscheinen, sieht man durch ein doppeltes Opernglas volle Gegenstände wie Basreliefs, und durch dasselbe Opernglas in umgekehrter Haltung wirkliche Basreliefs wie Hautreliefs.

Auch theoretisch findet man leicht aus den bekannten Gesetzen der Fernröhre und des stereoskopischen Sehens, daß ein Doppelfernrohr, dessen optische Axen parallel und genau um den Abstand der beiden Augen des Beobachters von einander entfernt sind, welches n Mal vergrößert, die Gegenstände so erscheinen läßt, als wären alle senkrecht zur Axe des Fernrohrs gerichteten Dimensionen unverändert geblieben, die Entfernungen der Gegenstände vom Beobachter, parallel der optischen Axe, dagegen auf $\frac{1}{n}$ reducirt, so daß der Beobachter die Gegenstände in natürlicher Größe, aber genähert, und nach der Tiefendimension des Gesichtsfeldes comprimirt zu sehen glaubt.

Während jedes einzelne Fernrohr dem Beobachter den Gegenstand so zeigt, wie er in $\frac{1}{n}$ der Entfernung erscheint,

sind doch die Verschiedenheiten der perspectivischen Ansicht beider Augen nicht so groß, wie sie seyn würden, wenn der Beobachter sich dem Gegenstande wirklich bis auf $\frac{1}{n}$ der Entfernung genähert hätte. Durch Verbindung eines Doppelfernrohrs mit einem Telestereoskop von parallelen Spiegelpaaren wird dieser Fehler nicht beseitigt; es tritt nur eine gleichmäßige weitere Reduction aller scheinbaren linearen Dimensionen, wie sie das Doppelfernrohr zeigt, ein. Wohl aber kann man für einzelne Gegenstände, die in bestimmter Entfernung stehen, ein richtiges Relief gewinnen, indem man die kleinen Spiegel unter 45° stehen läßt, und die großen allein unter einem etwas kleineren Reflexionswinkel als 45° reflectiren läßt. Dadurch gewinnt man, wie ich vorher erwähnte, im einfachen Telestereoskop allein ohne vergrößernde Gläser ein übertriebenes Relief, und kann dadurch den entgegengesetzten Fehler der Fernrohrverbindung corrigiren.

VI. *Eine Licht-Erscheinung im Auge;* *von V. S. M. van der Willigen.*

Wenn ich in einem dunklen Zimmer durch einen engen Schlitz der Thüre nach einer gut erleuchteten weißen Wand sehe, bemerke ich hin und wieder zwei in die Länge gezogene erleuchtete Ringe, deren Länge-Axen horizontal liegen, auf jeder Seite des Schlitzes einen, und von denen der linke Ring zum linken Auge, der rechte zum rechten gehört. An dem von dem Schlitze abgewendeten Ende sind diese Ringe nicht gut geschlossen und haben das geringste Licht; am Ende dagegen, das dem Schlitze am nächsten liegt, sind sie am besten erleuchtet; in seiner Form gleicht ein solcher Ring sehr gut dem Paare Züge, wo-

durch man in der Zeichenkunst gewöhnlich ein menschliches Auge darstellt; die ganze Erscheinung ist sehr wandelbar und flüchtig, und die Ringe sind unaufhörlichen Aenderungen unterworfen in Gröfse und Lichtstärke, aber nicht in Form, und eben dann, wann man sie starr ins Auge fassen will, sind sie am schnellsten verschwunden. Noch muß bemerkt werden, daß man mit dem linken Auge niemals einen Ring auf der rechten Seite der Spalte sehen kann, und eben so wenig mit dem rechten einen Ring auf der linken Seite. Die Erscheinung ist also eine rein subjective, da sie gänzlich abhängt von der Stellung des Schlitzes in Bezug auf das Auge, und eine Beleuchtung des Auges von der Nasen-Seite aus eine nothwendige ist, was aus dem Letzteren deutlich wird.

Was nun die Erklärung dieser Erscheinung betrifft, so glaube ich, sie sey sehr einfach. Das Auge wird durch die Thränen-Flüssigkeit fortwährend naß gehalten, die also auf Cornea und Pupille ausgebreitet ist und bei jedem unwillkürlichen Schließen und Oeffnen erst ausgebreitet wird und sich dann wieder durch Capillarität und Viscosität nach den Gliedern zurückzieht. Die unregelmäßige Brechung und Zertrennung durch diese Flüssigkeit und ihre Ränder, in so fern sie auf dem Wege des Lichts liegen, das von dem Schlitze durchgelassen wird, sind zur Erklärung mehr als genügend; und diess um so mehr, da die Thränen-Flüssigkeit eben von der Nasen-Seite aus über die Fläche der Sclerotica verbreitet wird und vielleicht an dieser Seite eine convex-concave Anhäufung auf dieser Fläche darzustellen vermag.

I. *Ueber die elektrische Funkenentladung in Flüssigkeiten; von Peter Riefs.*

(Aus den Monatsbericht. d. Akad. Juli 1857.)

In einer im vorigen Jahre der Akademie gemachten Mittheilung habe ich angeführt, daß bei der Entladung einer Leydener Batterie durch einen metallischen Schließungsbogen, der durch eine Wasserschicht unterbrochen ist, zwei sichtbar verschiedene Arten der Entladung in der Flüssigkeit stattfinden können. Bei der discontinuirlichen Entladung wurde in der Flüssigkeit ein blendender, von einem starken Schalle begleiteter Funke sichtbar, bei der continuirlichen wurde weder Licht noch Geräusch bemerkt. Ob die eine oder die andere Entladungsart eintrat, hing, bei constanter Ladung der Batterie und Entfernung der Elektroden, von dem Gehalte des Wassers an Kochsalz, und von der Beschaffenheit der Endflächen der Elektroden ab; die Bekleidung dieser Endflächen mit der zartesten Oelhaut reichte hin, statt der continuirlichen die Funkenentladung eintreten zu lassen. Neben dem, unmittelbar in die Sinne fallenden Unterschiede beider Entladungsarten, war ihre Verschiedenheit mittelbar, aber nicht weniger merklich in der Wirkung, welche die Entladungen auf den metallischen Theil der Schließung äußerten. Die Erwärmung dieses Theiles war bei der Funkenentladung beträchtlich größer, als bei der continuirlichen, ein Erfolg, der mit der Vorstellung vollkommen übereinstimmte, die ich von dem Mechanismus der discontinuirlichen Entladung gegeben hatte. Weniger deutlich war die Ursache des Einflusses, den der Zusatz von Kochsalz zum Wasser

auf die Wirkung der Funkenentladung äufserte. Während ein solcher Zusatz, wie schon früher bekannt war, die Wirkung der continuirlichen Entladung steigerte, war in den wenigen Versuchen, die ich darüber angestellt hatte, eine bedeutende Schwächung merklich, die dasselbe Mittel in der Wirkung der Funkenentladung hervorbrachte. Ich mußte es unentschieden lassen, ob diese Schwächung allein davon herrührte, daß in Salzwasser ein Theil der angesammelten Elektrizität in Funken, ein anderer Theil continuirlich überging — oder ob bei veränderter Beschaffenheit der Flüssigkeit die Funkenentladung selbst verändert worden war. (Monatsberichte 1856, S. 252¹.) Die Entscheidung dieser Alternative wünsche ich durch die vorliegende Untersuchung herbeigeführt zu haben.

Funken-Entladung in Salzwasser.

In den früheren Versuchen war, ohne Anwendung des Oeles, die Funkenentladung nur in reinem Wasser und in solchem hervorgebracht worden, das in 100 Theilen 0,041 Theil getrockneten Kochsalzes enthielt. Die Elektroden bestanden aus zwei horizontalen, 10 Linien langen, 1 Linie dicken Platindrähten, die, an verticalen gefirniften Kupferklemmen befestigt und mit ihren ebenen Endflächen $\frac{1}{2}$ Linie von einander entfernt, in das Wasser tauchten. Ich vermuthete, daß die nicht unbedeutende Oberfläche der Elektroden, die mit der Flüssigkeit in Berührung kam, eine continuirliche Entladung begünstigte, und damit die Funkenentladung in den stärkeren Salzlösungen hinderte. Die Elektrodenklemmen wurden deshalb in Hüllen aus Gutta-percha gesteckt und die horizontalen Drähte durch die Hüllen geführt, so daß von jeder Elektrode nur ein etwa 3 Linien langes Stück Platindraht mit der Flüssigkeit in Berührung kam. Die folgende Beobachtungsreihe wurde mit der früher gebrauchten Batterieladung ausgeführt, mit der in 3 Flaschen angehäuften Elektrizitätsmenge 14, zu deren Messung die Kugeln der Maafsflasche $\frac{1}{2}$ Linie von einander entfernt waren. Die angegebenen Erwärmungen

1) Diese Ann. Bd. 98, S. 571.

des im Schließungsbogen befindlichen Thermometers sind zumeist Mittel von zwei nahe übereinstimmenden Beobachtungen, seltener von drei Beobachtungen. Vor jeder Beobachtung wurden die Elektroden aus der Flüssigkeit gehoben, getrocknet und mit Sandpapier gerieben. Die discontinuirlichen Entladungen, die mit Funken und Schall in der Flüssigkeit stattfanden, sind in der Tafel durch ein Sternchen bezeichnet. Die Leitungsflüssigkeit wurde aus destillirtem Wasser und getrocknetem Chlornatrium zusammengesetzt; die erste Zeile giebt an, wie viel Theile des Salzes in 100 Theilen Flüssigkeit enthalten waren.

I.

Salzgehalt d. Flüssigkeit procentisch	0,041	0,083	0,124	0,167	0,332	1,31
Erwärmung im Schließungsbogen	58,5*	16,9*	9,0*	5,7*	3,8	6,5 15,7.

Die Beschränkung der Elektrodenfläche hatte sich wirksam gezeigt. Die Funkenentladung, die früher schon in der Lösung mit 0,083 Proc. Kochsalz ausgeblieben war, hatte hier noch bei dieser und der folgenden stärkeren Lösung stattgefunden. Sonst war der Gang der Erwärmungen der früher beobachtete: mit steigender Menge des gelösten Salzes eine schnelle Abnahme der Erwärmung bei den Funkenentladungen bis zum Eintritte der continuirlichen Entladung, und bei dieser eine langsame Zunahme.

Die krummen Flächen der Platindrähte wurden mit Siegelackfirnis bekleidet und stark getrocknet, so daß nur die ebenen, hier $\frac{1}{4}$ Linie von einander entfernten, Endflächen der Drähte metallisch blieben. Damit wurde die folgende Beobachtungsreihe erhalten.

II.

Salzgehalt d. Flüssigkeit procentisch	0,041	0,083	0,125	0,208	0,314
Erwärmung im Schließungsbogen	66,8*	32,8*	13,4*	7,9*	3,9 4,6.
Salzgehalt	0,415	0,826	1,23	1,64	2,04 2,44
Erwärmung	6	10,7	15,4	16,9	20,6 23,4.

Diese Reihe zeigt eine geringere Abnahme der Erwärmung durch die erste Salzlösung, als die vorige Reihe, von

12 *

der sie sonst nicht wesentlich verschieden ist. Die Funkenentladung war in keiner stärkeren Lösung, als dort, vorgekommen. Die Siegellackschicht hatte nicht, wie beabsichtigt war, die Entladung auf die metallischen Endflächen der Elektroden beschränkt, und war durch die Entladung an mehreren Stellen abgesprengt worden. Ich habe dieß Absprengen selbst an Drähten bemerkt, die mit einer dünnen Schicht geschmolzenen Siegellacks bekleidet waren.

Die Guttaperchahüllen, in welchen sich die Elektroden befanden, wurden nun bis zu den Endflächen der Platindrähte vorgeschoben, und ihr Zurückweichen durch eingeschobene Keile verhindert. Die Elektroden blieben in der Flüssigkeit vollkommen trocken, und nur ihre, $\frac{7}{12}$ Linie von einander entfernten, Endflächen wurden benetzt. Diese Einrichtung entsprach dem Zwecke, und die Funkenentladung entstand in der stärksten Salzlösung, die gerade zur Hand war. Ich konnte daher zur folgenden Reihe eine geringere Ladung der Batterie benutzen, als bisher, was zur Schonung des Thermometers und des Gefäßes wünschenswerth war, in dem sich die Flüssigkeit befand. Es wurde die Elektrizitätsmenge 10 in 3 Flaschen gebraucht. Da von hier an überall die Funkenentladung statt hatte, so ist sie in den Tafeln nicht mehr besonders bezeichnet worden.

III.

Salzgehalt procentisch								0,166	0,415	0,826	1,23	1,64
Erwärmung im Schließungsbogen	35,3							30,4	29,1	20,6	15	12,7
Salzgehalt	2,04	2,44	2,83	3,22	4,00	4,95						
Erwärmung	9,7	9,3	10,4	11,6	12,6	14,2.						

Die Erwärmung nahm bei Anwendung von immer stärkeren Lösungen sehr langsam ab, erreichte erst, als sich 2,44 Proc. Kochsalz in der Flüssigkeit befanden, ihren kleinsten Werth, und nahm von da an langsam wieder zu. Der Funke in den schwächeren Lösungen war blendend weiß und schallend, in den stärkeren Lösungen gelblich und von dumpferem Schalle.

Die bisherigen Versuche waren in einer Guttapercharinne, $8\frac{1}{4}$ Zoll lang $1\frac{3}{4}$ breit, angestellt worden, die mit 10 Unzen destillirten Wassers gefüllt war. Da von hier an die Elektrodenhüllen aus Guttapercha nicht mehr benutzt wurden, so konnte eine Rinne aus starkem Glase, im Lichten $3\frac{1}{6}$ Zoll lang, 1 Zoll breit, angewendet werden, zu deren Füllung nur 2 bis $2\frac{1}{2}$ Unzen Wasser erforderlich waren. Zur folgenden Versuchsreihe wurden sehr kleine Elektrodenflächen genommen. Kupferdrähte von $\frac{1}{8}$ Linie Dicke wurden fest in enge Glasröhren eingeschmolzt, und das Glas abgeschliffen, bis eine Kupferfläche erschien. Die Kupferflächen beider Elektroden waren $\frac{7}{10}$ Linie von einander entfernt. Zur Ladung der 3 Flaschen wurde die Elektrizitätsmenge 12 gebraucht.

IV.

Salzgehalt procentisch				0,103	0,61	0,92	1,52
Erwärmung im Schließungsbogen	56,4	52	47,8	41,2	30,7		

Salzgehalt	2,11	2,70	3,85	4,89	6,71	8,48	10,16
Erwärmung	20,2	13,9	12,4	12	12,2	13,4	14,5

Salzgehalt	11,80	13,37	15,62
Erwärmung	16,5	17,8	18,8

Die Entladung in der Flüssigkeit fand überall mit einem glänzenden Funken und starkem Schalle statt. Beide Erscheinungen nahmen mit zunehmender Stärke der Salzlösung zwar ab, aber doch so wenig, daß der Glanz des Funkens selbst bei der letzten Beobachtung dem Auge empfindlich fiel. Obgleich nicht das Ausbleiben der Funken dazu nöthigte, wie früher, so wurden die Elektroden von Zeit zu Zeit aus dem Wasser gehoben und mit Sandpapier gerieben, weil sonst die Erwärmungen zu gering ausfielen.

Die vier mitgetheilten Versuchsreihen unterscheiden sich von einander durch die abnehmende Größe der mit dem Wasser in Berührung gebrachten Elektrodenfläche, die in der ersten Reihe über 32 Quadratlinien, in der letzten 0,022 Quadratlinie betrug. Die unmittelbare Erscheinung der

Entladung bei steigender Menge des zugesetzten Salzes wurde dadurch in der Art geändert, daß in Reihe I und II die leuchtende und schallende Entladung bald durch die unmerkliche continuirliche Entladung ersetzt wurde, in Reihe III und IV hingegen durchweg statt hatte. Die Erwärmung im metallischen Theile des Schließungsbogens erfuhr im Allgemeinen dieselbe Aenderung in den 4 Reihen, sie nahm zuerst ab, und nach Erreichung eines kleinsten Werthes wieder zu. Nur geschah die anfängliche Abnahme und spätere Zunahme desto schneller, je größer die Elektrodenfläche war, und der kleinste Werth wurde deshalb erst bei einer desto stärkeren Concentration des Salzwassers erreicht, je kleiner die Fläche war. Es trat nämlich das Minimum der Erwärmung ein,

in Reihe	I.	II.	III.	IV.
mit dem procentischen Salzgehalte der Flüssigkeit	0,167	0,208	2,44	4,89.

Diese Bemerkungen führen zur Ursache der Erscheinung. Die discontinuirliche Entladung führt in gleicher Zeit eine größere Elektricitätsmenge durch den Schließungsbogen, als die continuirliche, so daß, wenn eine bestimmte Elektricitätsmenge in Funken oder continuirlich durch dieselbe Flüssigkeit entladen wird, die Erwärmung des metallischen Theiles der Schließung im ersten Falle ungleich größer ist, als im zweiten (Monatsberichte 1856 S. 251). In den oben mitgetheilten Versuchen fand aber die Funkenentladung nur zwischen den nächsten Flächen der Elektroden statt, und der große Einfluß, den die (in der ersten Versuchsreihe bis 10 Linien) von dem Funken entfernten Theile der Elektroden auf die Größe der Erwärmung hatten, lehrt, daß hier zugleich eine continuirliche Entladung im Spiele war. Daß diese, neben der Funkenentladung, auftreten kann, ist nicht auffallend. Ich habe es wahrscheinlich gemacht (Poggendorff's Annalen Bd. 99, S. 8), daß der Funke erst einige Zeit später ausbricht, als der Leiter die dazu genügende, oder selbst eine größere Elektricitätsmenge erhalten hat. Ehe also die erste discontinuirliche Partialentladung stattfindet in der Flüssigkeit, können continuir-

liche Partialentladungen eintreten, die einen Theil der Elektricität von den Elektroden fortführen. Die Menge der fortgeführten Elektricität nimmt zu mit der gröfseren Ausdehnung der Elektroden und mit dem gröfseren Salzgehalte des Wassers; Letzteres, weil dann die continuirlichen Entladungen schneller einander folgen. Die in der Batterie angehäuften constante Elektricitätsmenge nimmt mit den Partialentladungen allmählich ab. Eine discontinuirliche Partialentladung findet so lange statt, als jene Menge noch hinlänglich grofs ist, die Elektroden mit so viel Elektricität zu versehen, dafs die Endflächen derselben, ungeachtet der durch die continuirliche Entladung fortgeführten Elektricität, die zur Funkenentladung nöthige Menge besitzen. Durch steigenden Zusatz von Salz zum Wasser mufs demnach die Zahl der stattfindenden discontinuirlichen Partialentladungen verringert, und zwar um desto mehr verringert werden, je ausgedehnter die Elektrodenfläche ist, so dafs bei hinlänglich grofser Elektrodenfläche bald der Punkt eintritt, an dem die Funkenentladung gänzlich aufhört. Hiermit ist eine Erklärung der beschriebenen Versuche, und auferdem des merkwürdigen Umstandes gegeben, dafs die natürliche Unreinheit der Elektrodenfläche die Funkenentladung begünstigt, ein fettiger Ueberzug derselben die ausgebliebene Entladung wiederherstellt. Bei rein metallischer Beschaffenheit der Endflächen der Elektroden findet nicht nur an diesen Flächen, ehe der Funke ausbricht, eine (wegen der daselbst vorhandenen Dichtigkeit) heftige continuirliche Entladung statt, sondern die elektrische Dichtigkeit dieser Flächen wird auch momentan verringert durch die continuirliche Entladung an entfernten Stellen der Elektroden. Bei unreiner Oberfläche der Enden ist an ihnen die continuirliche Entladung schwächer, und die Dichtigkeit an den Enden wird nicht momentan durch den an anderen Stellen eintretenden Elektricitätsverlust verringert. Die Endflächen können daher eine längere Zeit die zur Funkenentladung nöthige elektrische Dichtigkeit behalten. Ferner ist hierdurch die seit lange bekannte

Thatsache erklärt, daß bei bestimmter Entfernung der Elektroden in einer Flüssigkeit die Funkenentladung eine desto stärkere Ladung der Batterie verlangt, je besser die Flüssigkeit die continuirliche Entladung leitet. Weil nämlich die Funkenentladung erst nach einer continuirlichen Entladung eintritt, so muß die dazu nöthige Elektrizitätsmenge desto größer seyn, je mehr davon die continuirliche Entladung fortführt. Ebenso hat die Wirksamkeit der in Glas eingeschmelzten Drähte (Wollastons Elektroden) bei der Zersetzung von Flüssigkeiten durch Elektrizität darin ihren Grund, daß die continuirliche Entladung an der Oberfläche auf ein Minimum gebracht, und fast die ganze Elektrizitätsmenge discontinuirlich entladen wird.

Aus dem gleichen Verlaufe der in den mitgetheilten Reihen durch eine constante Batterieladung hervorgebrachten Erwärmungen läßt sich mit Sicherheit schließen, daß bei jeder Funkenentladung die beiden verschiedenen Entladungsarten wirksam gewesen sind. Die angewandte Elektrizitätsmenge hat sich dabei in zwei, von dem Salzgehalte der Flüssigkeit abhängige, ungleiche Portionen getheilt, von welchen die eine Portion discontinuirlich, die andere continuirlich entladen worden ist. Da die discontinuirliche Entladung einer Elektrizitätsmenge eine ungleich stärkere Erwärmung zur Folge hat, als die continuirliche, so folgt hieraus mit Nothwendigkeit: das Eintreten eines Minimum der Erwärmung, die Lage dieses Minimum je nach der Größe der Elektroden, der verschiedene Werth desselben, und die spätere Zunahme der Erwärmung. Bei den sehr kleinen Elektroden der Reihe IV trat indeß der kleinste Werth der Erwärmung erst bei starker Concentration der Salzlösung ein und blieb dann eine geraume Zeit constant (von 3,85 bis 6,71 Proc. Salz), um später äußerst langsam zu steigen. Da die Steigerung der Erwärmung des Schließungsbogens durch continuirliche Entladung, bei Zusatz von Kochsalz zur entladenden Flüssigkeit, eine Thatsache ist, so vermuthete ich eine die Steigerung hindernde Ur-

sache, die unmittelbare Aenderung der Funkenentladung bei einem bestimmten Salzgehalte der Flüssigkeit. Diese Vermuthung, durch analoge Fälle in luftförmigen Flüssigkeiten unterstützt, war nicht von der Hand zu weisen, und der Versuch dahin zu lenken. Ich glaube, dieß mit Erfolg gethan zu haben. Wenn daher auch der erste Satz der von mir gestellten Alternative durch die vorgetragene Untersuchung entschieden bejaht wird, und wir bei den Funkenentladungen in Flüssigkeiten zugleich continuirliche Entladungen annehmen müssen, so ist damit der zweite Satz nicht erledigt, wonach die Funkenentladung selbst, je nach der Beschaffenheit der Flüssigkeit, in verschiedener Weise statt findet. Die in dem folgenden Theile aufgeführten Thatsachen werden zeigen, daß beide Sätze der Alternative begründet sind, und daher nicht, einander ausschließend, gegenüber gestellt werden dürfen.

Funkenentladung zwischen ungleichen Elektroden in verschiedenen Flüssigkeiten.

Ein $\frac{1}{6}$ Linie dicker Kupferdraht, in eine Glasröhre eingeschmolzt, deren massives Ende abgeschliffen war, bildete die eine Elektrode, von welcher, $\frac{5}{8}$ Linie entfernt, als andere Elektrode eine $4\frac{5}{8}$ Linien dicke Messingkugel, an dem Ende eines unbedeckten 1 Linie dicken Kupferdrahtes, angebracht war. Die Drahtelektrode lag der inneren Belegung der mit positiver Elektrizität geladenen Batterie zunächst, die (wie auch weiterhin, wenn es nicht anders gesagt ist) aus 3 Flaschen bestand, und mit der Menge 12 geladen wurde. Von den beobachteten Erwärmungen des Schließungsbogens, während sich zwischen den Elektroden Wasser mit steigenden Mengen Chlornatrium befand, theile ich nur die folgenden mit, die den Gang der Erwärmungen hinlänglich beurtheilen lassen. Die Erwärmungen sind Mittel aus 3 Beobachtungen. Die Fläche der Drahtelektrode wurde von Zeit zu Zeit mit Sandpapier abgerieben.

V.

Salzgehalt d. Flüssigkeit procentisch				0,083	0,124	0,287	0,667
Erwärmung im Schließungsbogen	48,3			35,6	33,9	28,3	20,8
Salzgehalt	0,917	1,28	1,62	1,96	2,38		
Erwärmung	16,5	13,5	12,6	9	9,7.		

Bei allen Beobachtungen geschah die Entladung in der Flüssigkeit mit blendendem Funken und starkem Schalle. Man sieht die Erwärmungen mit steigendem Salzgehalte der Flüssigkeit langsam abnehmen und erst bei dem Gehalte von 2 Proc. Salz ihren kleinsten Werth erreichen. Es fiel mir auf, daß es genügte, eine der beiden Elektrodenflächen klein zu nehmen, um einen Gang der Erwärmungen hervorzubringen, der in Reihe III durch Kleinheit beider Elektroden bedingt wurde.

Ueberraschend wurde mir die Wiederholung dieser Versuche, bei welcher ich die große Elektrode (die Kugel an ihrem Drahte) der innern Belegung der Batterie zunächst gestellt hatte. Hier drückte die kleinste Menge Kochsalz die Erwärmung so tief hinab, daß ich die Reihe nicht mehr mit Zusetzung abgewogener Mengen des trocknen Salzes zum Wasser anstellen konnte, und dafür eine Salzlösung hinzusetzen mußte. In der folgenden Tafel sind, wie früher, die Theile des trocknen Kochsalzes angegeben, die in 100 Theilen der Flüssigkeit enthalten waren.

VI.

Salzgehalt d. Flüssigkeit procentisch				0,0206	0,0415	0,0623	
Erwärmung im Schließungsbogen	38,4			24,6	16,5	11,3	
Salzgehalt	0,083	0,103	0,124	0,206	0,287	0,407	0,527
Erwärmung	7,2	2,6	1,2	1,6	2,3	2,8	3
Salzgehalt	0,667	0,917	1,28	1,61	1,96	2,38	
Erwärmung	3,7	4,8	5,7	7	7,4	8,3	

Alle Entladungen erfolgten in der Flüssigkeit mit hellem schallenden Funken, der bei den stärkeren Lösungen gelblich und weniger blendend erschien, als bei der ersten Stellung der Elektroden. Der Gang der Erwärmungen ist von dem in Reihe V mit denselben Elektroden erhaltenen durch-

aus verschieden. Obgleich, wie dort, die Funkenentladung bei allen Beobachtungen erfolgte, so sank hier die Erwärmung durch Zusatz des Salzes zum Wasser so schnell, daß ein Gewichtstheil Chlornatrium zu 805 Theilen Wasser zugesetzt, die Erwärmung von 38 auf 1 brachte, und zu 4853 Wasser zugesetzt, am Thermometer sehr merklich wurde. Die Batterie war in allen Fällen vollständig, ohne Zurücklassung eines Residuum entladen worden. Ich versicherte mich sogleich davon, daß die Stellung der Elektroden zu den Belegungen der Batterie nur dadurch diesen großen Unterschied in der Wirkung des Entladungsstromes hervorbrachte, daß die Richtung dieses Stromes geändert wurde. Ladet man die Batterie successiv mit positiver und negativer Elektrizität, so werden beide Reihen der Erwärmungen bei einer und derselben Stellung der Elektroden erhalten. Ich werde weiter unten davon beiläufig einige Beispiele anführen, ferner aber die Stellung der Elektroden dadurch bezeichnen, daß ich angebe, ob die bedeckte (Draht-) Elektrode in der Flüssigkeit die positive oder negative Elektrode bildete. Die Erscheinung wurde, zur Prüfung ihrer Empfindlichkeit, mit einigen anderen Flüssigkeiten dargestellt. Reines Schwefelsäurehydrat, dessen specifisches Gewicht bei 15° R. 1,84 betrug, wurde in einer Verdünnung zu Wasser gesetzt, in welches die in der vorigen Reihe benutzten Elektroden tauchten. Die Erwärmungen (Mittel aus zwei Beobachtungen) sind für beide Stellungen der Elektroden angegeben. Die erste Spalte bestimmt die Theile des Schwefelsäurehydrats in 100 Theilen der Leitungsflüssigkeit.

VII.

Gehalt d. Flüssigkeit an Schwefelsäure procentisch.	Die Drahtelektrode	
	positiv	negativ
	Erwärmung.	
	43,6	35,2
0,0173	39,2	16,1
0,0346	36,6	4,4
0,0519	32,6	1,8
0,0691	30,5	2,4

Gehalt d. Flüssigkeit an Schwefelsäure procentisch.	Die Drahtelektrode	
	positiv	negativ
	Erwärmung.	
0,103	28,1	3,2
0,172	18,6	5,3
0,667	11,5	7,5
1,13	11,6	8,7
1,57	13,9	11,0
1,99	15,2	12,6

Man sieht, daß der Zusatz von einem Theil Schwefelsäurehydrat zu 5779 Theilen Wasser hinreichte, die Erwärmung im Schließungsbogen von 35 bis 16 zu erniedrigen, und bei Zusatz zu 1926 Wasser auf ihren kleinsten Werth 1,8 zu bringen, im Falle der Strom von der großen zur kleinen Elektrode durch die Flüssigkeit ging. Bei entgegengesetzter Richtung des Stromes trat eine ungleich geringere Erniedrigung der Erwärmung ein. Der Funke in der Flüssigkeit war bei allen Beobachtungen weiß und schallend.

Zu Versuchen in Salpetersäure wurden Platinelektroden genommen: ein $\frac{1}{8}$ Linie dicker Draht, fest in Glas eingeschmolzt, und ein $\frac{1}{4}$ Linie dickes Blech, von dem ein rechteckiges Stück, $8\frac{3}{4} \times 5\frac{1}{2}$ Linien, in die Flüssigkeit tauchte. Die Endfläche des Drahtes stand $\frac{1}{12}$ Linie von dem Bleche entfernt. Die erste Spalte der Tafel giebt an, wie viele Theile einer Salpetersäure von 1,224 specifischem Gewichte in 100 der Flüssigkeit enthalten waren.

VIII.

Gehalt d. Leitungsflüssigkeit an Salpetersäure procentisch.	Die Drahtelektrode	
	positiv	negativ
	Erwärmung.	
	45,5	34
0,0173	45,1	26,6
0,0432	41,6	23,1
0,0860	38,8	10,8
0,128		7,2
0,171	34,6	2,8
0,252	33,5	2
0,413	31,6	2,3
0,568	27,5	3,

Gehalt d. Leitungsflüssigkeit
an Salpetersäure
procentisch

0,787
1,07
1,34
1,62
1,90
2,44
2,98
4,05

Die Drahtelektrode
positiv negativ
Erwärmung.

24,6	4,
22,1	6,
20,2	7,3
16,8	8,
13,3	9,
13,3	10,7
13,8	10,8
16,6	14,

Der Funke in der Flüssigkeit war bei allen Beobachtungen weiß und schallend, sein Glanz hatte in den letzten Beobachtungen bedeutend abgenommen. In dieser ausgedehnten Reihe ist die Erscheinung noch deutlicher als früher. Bei positiver Drahtelektrode nahm die Erwärmung im Schließungsbogen sehr langsam ab, erreichte ein Minimum, als die Flüssigkeit 2 Proc. Säure enthielt und nahm dann langsam wieder zu. Bei negativer Drahtelektrode hingegen war bei schneller Abnahme der Erwärmung das Minimum schon bei $\frac{1}{4}$ Proc. Säure erreicht, worauf ein langsames Steigen eintrat. Obgleich daher in dem Intervalle von $\frac{1}{4}$ bis 2 Proc. Säure die Erwärmung im ersten Falle sank, im zweiten stieg, so blieb doch, weil der absolute Werth des Minimum im ersten Falle viel größer war als im zweiten, die Erwärmung stets kleiner bei negativer als bei positiver Drahtelektrode in gleicher Flüssigkeit.

Auf dies Verhalten richtete ich meine Aufmerksamkeit in der letzten Versuchsreihe, bei welcher die Platinelektroden in Kalilauge gestellt waren. Das Kalihydrat war angeblich durch Scheidung mittels Alkohol gewonnen, also nicht ganz rein.

IX.

Kalihydrat
in 100 Th.
d. Flüssigk.

	Die Drahtelektrode positiv negativ Erwärmung.
	49,1 39,1
0,0657	47,8 18,3
0,131	47,2 1,7
0,212	45,8 2,4
0,355	42,1 2,9
0,481	37,9 4,5
0,711	36 6
0,786	31,9 6,6

Kalihydrat
in 100 Th.
d. Flüssigk.

	Die Drahtelektrode positiv negativ Erwärmung.
	28,5 8,6
	14,8 10,3
	13,5 11,2
	14,5 12,9
	16,3 14,6
	16,9 15,5
	17,4 16,8
	18,1 17,6

Der Funke, bei allen Beobachtungen weiß und schallend, brachte in einigen der stärksten Lösungen ein Aufschäumen hervor. Die Erwärmungen zeigen wesentlich denselben Verlauf wie in den früheren Reihen. Bei positiver Drahtelektrode wurde die kleinste Erwärmung erst in der elften der steigend concentrirteren Lösungen erreicht, bei negativer Drahtelektrode bereits in der dritten. Die Reihe ist so weit geführt, bis bei beiden Stellungen der Elektroden nahe dieselbe Erwärmung eintrat. Aber ungeachtet des sehr ungleichen Anfangspunktes, von wo an die Erwärmungen stiegen, ist keine Beobachtung vorgekommen, in welcher die Drahtelektrode, wenn negativ, eine größere Erwärmung geliefert hätte, als wenn positiv.

Von den vier angewandten Arten von Flüssigkeiten war die Schwefelsäure die wirksamste, durch den kleinsten Zusatz zum Wasser die Erwärmung zu erniedrigen. War dabei die kleinere Elektrode negativ, so liefs sich ein Zusatz von 0,0001 zu 1 Theil Wasser auch bei einer oberflächlichen Beobachtung nicht verkennen, und ich suchte die Gränze zu finden, bei der das Thermometer noch den Zusatz der Säure mit Sicherheit angab. Hier aber zeigte sich, dafs das gewöhnlich benutzte destillirte Wasser für solche Versuche nicht rein genug ist. Destillirtes Wasser aus einer Apotheke, einem chemischen Laboratorium und der Struve'schen Anstalt für künstliche Mineralwässer erschien nicht als dieselbe Flüssigkeit. Diesem Umstande schreibe ich es auch zu, dafs der Unterschied der Erwärmungen nach der Richtung des Entladungsstromes bei den ersten Beobachtungen jeder Reihe nicht kleiner und nicht constant war (er variiert im Verhältnisse 100 zu 75 und 80). Ein Unterschied der Erwärmung nach der Richtung des Stromes fand bei jeder der zahlreichen benutzten Flüssigkeiten statt, nur war er klein, wenn die Flüssigkeit für continuirliche Entladung schlechtleitend, noch kleiner, wenn sie gutleitend war, aber grofs bei einer bestimmten dazwischenliegenden Beschaffenheit der Flüssigkeit. Ganz verschwinden sah ich diesen Unterschied nur bei Anwendung des rectificirten Terpen-

thinöls, einer bekanntlich sehr unvollkommen leitenden Flüssigkeit, und überzeugte mich davon, daß er durch Erwärmung einiger der benutzten Flüssigkeiten vergrößert wird. Die gebrauchten Elektroden waren indess zur Anstellung messender Versuche in höherer Temperatur nicht geeignet, so daß ich die Mittheilung solcher Versuche einer späteren Gelegenheit aufsparen muß.

Der Grund der so auffallend verschiedenen Abnahme der Erwärmung, je nachdem eine kleine Fläche positive oder negative Elektrode ist, wird durch die im vorigen Abschnitte gemachte Erfahrung nicht gegeben. Es ist dort, bei Annahme nur Einer Art von Funkenentladung, gezeigt worden, daß die verschiedene Wirkung von einer verschiedenen Elektrizitätsmenge herrührt, die mit Funken entladen wird. Hatten die Elektroden eine große Oberfläche, so wurde von der constanten Elektrizitätsmenge der Batterie ein größerer Theil continuirlich entladen, ein kleinerer Theil mit Funken, die Wirkung der Funkenentladung nahm mit Zusatz des Salzes zum Wasser schnell ab, und die sichtbare Entladung hörte bald auf. Waren die Elektroden klein, so blieb die Funkenentladung durchweg und die Abnahme ihrer Wirkung geschah sehr langsam. In diesem Abschnitte ist nun an mehreren Beispielen gezeigt worden, daß die Wirkung der Funkenentladung schnell oder langsam abnimmt, je nachdem die große Oberfläche positive oder negative Elektrizität in die Flüssigkeit führt. Man könnte an einen, bei den ersten Partialentladungen an der negativen Elektrode elektrolytisch ausgeschiedenen Stoff denken, der die continuirliche Entladung beschränkte. Diese Annahme, schon an sich nicht wahrscheinlich, läßt sich direct widerlegen. Wäre nämlich die Bekleidung der großen Elektrodenfläche mit einem isolirenden Stoffe die Ursache der langsamen Abnahme der Erwärmung, so müßte, wenn eine solche Bekleidung absichtlich vorgenommen wäre, der Unterschied der Erwärmung nach der Richtung des Stromes fortfallen. Diefs ist aber nicht der Fall. In einem Versuche, bei welchem die große mit Olivenöl be-

strichene Elektrode negativ war, fand ich die Erwärmung 44, und die Erwärmung 1, als jene positiv war. Eine einfache Erklärung der besprochenen Erscheinung würde zu geben seyn, wenn wir verschiedene Arten der Funkenentladung in Flüssigkeiten unterscheiden. In luftförmigen Medien sind drei, dem Ansehen und der Wirkung nach sehr verschiedene Arten der discontinuirlichen Entladung bekannt, und es ist ferner bekannt, daß an derselben Elektrode, je nach der Beschaffenheit des Medium, eine Entladungsart mit der einen Elektrizitätsart leichter zu Stande kommt, als mit der entgegengesetzten (Faraday in *exper. research. series XII*). So ist, um ein Beispiel anzuführen, an einer großen Elektrodenfläche das Glimmlicht in freier Luft sehr schwer mit negativer Elektrizität zu erhalten, leicht mit positiver, hingegen in verdünnter Luft leicht mit negativer, schwerer mit positiver Elektrizität. Auch sind sichtlich verschiedene Arten von discontinuirlicher Entladung in Flüssigkeiten nicht ganz unbekannt. Der blendende schmetternde Funke, der eine Flüssigkeit durchbricht, ist verschieden genug von den ruhigen fast geräuschlosen Lichtpunkten, die zuerst von Troostwyck und Deimann an den Enden in Wasser tauchender Elektroden gesehen wurden, wobei die discontinuirliche Entladung durch das Auftreten gleicher Zersetzungsproducte an beiden Elektroden angezeigt war. Nehmen wir an, daß es verschiedene Arten von discontinuirlicher Entladung in Flüssigkeiten giebt, daß diese Arten in verschiedener Zeit ausgeführt werden, und daß, je nach der Beschaffenheit der Flüssigkeit und der Elektroden, die eine oder die andere Art eintritt, so sind die hier angeführten Versuche in folgender Weise in allgemeinen Zügen abzuleiten.

Die stärkste, in kürzester Zeit ausgeführte, Funkenentladung kommt leicht zu Stande, wenn eine Elektrode von kleiner Oberfläche positive Elektrizität in eine schlechtleitende Flüssigkeit führt. Wird der Flüssigkeit in steigender Menge ein Stoff hinzugesetzt, der ihr Leitungsvermögen für continuirliche Entladung erhöht, so nimmt

die Wirkung der Funkenentladung darum fortwährend ab, weil vor ihrem Eintritte eine immer grössere Elektrizitätsmenge continuirlich entladen wird. Die Abnahme geschieht sehr langsam, weil die continuirliche Entladung an einer kleinen Fläche eintritt, gerade wie es im ersten Abschnitte bei den beiden Elektroden geschah (Reihe IV). Bei einem gewissen Werthe des Leitungsvermögens der Flüssigkeit geht die starke Funkenentladung in eine schwächere über; da nun hier die Menge der continuirlich entladenen Elektrizität bereits groß ist, so muß ein Minimum der Erwärmung und ein darauf folgendes langsames Steigen derselben eintreten. Ist dagegen die Oberfläche der Elektrode groß, welche positive Elektrizität in die Flüssigkeit führt, so kommt die starke Funkenentladung schwer zu Stande; es tritt für sie eine schwächere ein und diese geht, bei zunehmendem Leitungsvermögen der Flüssigkeit für continuirliche Entladung, in noch schwächere, eine längere Zeit erfordernde, Entladungen über. Die Erwärmung ist daher verschieden, je nachdem, bei ungleichen Elektroden, die kleinere Elektrode positiv oder negativ ist; sie nimmt im zweiten Falle mit der Menge des der Flüssigkeit zugesetzten Stoffes schnell ab und erreicht ein Minimum, das kleiner seyn muß, als im ersten Falle, weil es in einer weniger leitenden Flüssigkeit eintritt, in welcher die continuirliche Entladung noch keine große Elektrizitätsmenge in Anspruch nimmt. Das darauf folgende Steigen der Erwärmung hat denselben Grund, wie im ersten Falle: die Zunahme der continuirlich entladenen Elektrizitätsmenge, und findet daher eben so langsam statt. — Diefes scheint mir eine naturgemäße Erklärung der verwickelten Erscheinung zu seyn, und der folgende Satz, als Schlüssel dazu, merkwürdig. »Es giebt verschiedene Arten von discontinuirlicher Entladung in Flüssigkeiten, die den Schließungsbogen verschieden erwärmen. Die ihn am stärksten erwärmende Entladung findet desto leichter statt, je geringer das Leitungsvermögen der Flüssigkeit für continuir-

liche Entladung, und je kleiner die Oberfläche der positiven Elektrode ist.“

Verschiedene Wirkung der verschiedenen Funkenentladungen in Flüssigkeiten.

Verschiedene Funkenentladungen erhält man in jeder der im vorigen Abschnitte gebrauchten Flüssigkeiten, bei Anwendung ungleich großer Elektroden, durch entgegengesetzte Richtung des Entladungsstroms in der Flüssigkeit. Um die Verschiedenheit möglichst groß zu haben, wählt man die eine Elektrodenfläche möglichst klein, und die in den Tafeln bei dem ersten Minimum der Erwärmung angegebene Flüssigkeit. Die verschiedene Richtung des Stromes wird entweder dadurch erhalten, daß die Batterie successiv mit beiden Elektrizitätsarten geladen, oder einfacher dadurch, daß sie immer mit derselben Art geladen wird, und man die Klemmen umsetzt, welche die Elektroden mit dem Schließungsbogen verbinden. Die unmittelbare Erscheinung der Entladung in der Flüssigkeit ist bei verschiedener Richtung des Stromes etwas verschieden, Glanz des Funkens und Stärke des Schalles größer, wenn der Strom von der kleinen zur großen Elektrode geht, als im entgegengesetzten Falle. Aber besonders merkwürdig ist die verschiedene Erwärmung, welche dabei im Schließungsbogen erregt wird. Alle Versuche des vorigen Abschnittes geben dazu Belege, von welchen die auffallendsten hier zur Uebersicht zusammengestellt sind. Die Erwärmung bei positiver kleiner Elektrode ist hierbei in jedem Falle = 100 gesetzt worden.

		Richtung des Stromes	
		von der kleinen zur großen	von der großen zur kleinen
		Elektrode.	
Leitungsflüssigkeit.		Erwärmung im	Schließungsbogen.
1 Chlornatrium und	805 Wasser	100	3½
1 Kalihydrat	762	100	3½
1 Schwefelsäure 1,84 sp. G.	1926	100	5½
1 Salpetersäure 1,224 sp. G.	396	100	6
Luft von 1 Linie Quecksilberdruck		100	168

Das letzte Beispiel, einer früheren Mittheilung entnommen (Monatsberichte 1855, S. 397), zeigt, daß bei der Funkenentladung in sehr verdünnter Luft, gleichfalls ein Unterschied der Erwärmung nach der Richtung des Stromes zwischen ungleichen Elektroden vorhanden ist, dieser Unterschied aber geringer ist, als in tropfbaren Flüssigkeiten und im entgegengesetzten Sinne stattfindet. Dennoch beruht er, wie ich damals nachgewiesen habe, auf demselben Grunde, wie der hier betrachtete Unterschied, nämlich auf der Verwandlung einer Art der discontinuirlichen Entladung in eine andere.

Neben der erwärmenden Wirkung ist die mechanische Wirkung sehr verschieden bei verschiedener Art der Funkenentladung. Ein Platindraht 7 Linien lang, 0,037 Lin. dick, wurde an der Stelle des Thermometers im Schließungsbogen angebracht, in welchem die Elektroden der Reihe V in Kochsalzlösung von der oben angegebenen Verdünnung tauchten. Als die in Glas eingeschmelzte Elektrode die negative Elektrode bildete, wurde die Elektrizitätsmenge 18 aus 3 Flaschen dreimal durch den Schließungsbogen entladen, ohne daß der Platindraht die mindeste Aenderung erfuhr. Als aber die bedeckte Elektrode zur positiven Elektrode gemacht war, wurde der Draht durch dieselbe Entladung glühend zersprengt und verschwand spurlos. Dieser Versuch wird mit gleichem Erfolge an größeren Drahtlängen angestellt werden können, wenn, bei der dazu nöthigen stärkeren Ladung der Batterie, die Sprengung des Gefäßes nicht gefürchtet wird, in der sich die Salzlösung befindet.

Zur Prüfung der magnetischen Wirkung der verschiedenen Funkenentladungen, ließ ich einen Multiplicator anfertigen, dessen Gewinde aus einem $\frac{1}{2}$ Linie dicken mit Guttapercha bekleideten Kupferdrahte besteht. Von dem, mit seiner Hülle volle 2 Linien dicken Drahte sind 39 Fufs in 3 Lagen in 57 Windungen gelegt. Die einander nächsten Drahtwindungen sind daher durch eine Schicht Gutta-

percha von $1\frac{1}{2}$ Linie Dicke von einander getrennt, und ein Ueberspringen der Elektrizität von einer Windung zur nächsten ist vollkommen verhindert. Die verbundenen Magnetnadeln sind $2\frac{3}{4}$ Zoll lang, $\frac{1}{2}\frac{3}{8}$ Lin. dick, ihre Ablenkung wurde in einem Mikroskope beobachtet. Als die Elektroden der Reihe V in die zuletzt gebrauchte Kochsalzlösung tauchten, wurde die früher angewandte Ladung (Elektricitätsmenge 12 in 3 Flaschen) durch den Multiplicator geschickt. Ich erhielt in 3 Versuchen, bei welchen die in Glas eingeschmelzte Elektrode negativ war, die Ablenkungen der Magnetnadeln $4^{\circ}, 8, 4, 2, 4, 0$ in gesetzmässiger Richtung. Aber der Zustand der Nadeln war nicht unverändert geblieben. Zwischen den Beobachtungen mußte der Nullpunkt der Theilung um nahe 1 Grad verschoben werden, und die Dauer von 4 einfachen Schwingungen der Doppelnadel, die vor den Versuchen 55,2 Sekunden betragen hatte, war nach denselben auf 49,3 Sek. gesunken. Noch weit ungenügender waren die Versuche, als die bedeckte Elektrode die positive Elektrode in der Flüssigkeit bildete. Nach 3 Ablenkungen, von welchen jede nahe 1 Grad betrug und zwischen welchen der Nullpunkt der Theilung um fast 4 Grad verschoben werden mußte, fand sich das Nadelsystem gänzlich verändert, da es jetzt zu 4 Schwingungen nur 16,5 Sekunden gebrauchte. Da die über der Theilung schwebende Nadel vor- und nachher dem Systeme die Richtung gab, so folgte, daß die zwischen den Drahtwindungen schwebende Nadel durch die Entladungen bedeutend geschwächt worden war. Discontinuirliche Entladungen dürfen daher auch dann nicht durch einen Multiplicator geschickt werden, wenn der Uebergang von Elektrizität zwischen den Windungen gänzlich vernieden ist. Die Magnetisirung durch solche Entladungen ist zu groß, um das Meßinstrument während der Beobachtungen in einem constanten Zustande zu lassen.

Bei der Prüfung der Magnetisirung von Stahlnadeln durch die Entladungen benutzte ich eine Bussole mit einer

2 Zoll langen, auf einer Spitze leicht beweglichen Magnetnadel. Genau winkelrecht gegen die ruhende Nadel war ein Maassstab horizontal befestigt, dessen Verlängerung die Mitte der Nadel traf, und auf welchen die zu prüfende Stahlnadel gelegt wurde, mit ihrem nächsten Ende 20 Linien von dem Mittelpunkt der Busssole entfernt. Nachdem die Ablenkung der Bussolenadel abgelesen war, wurde die Stahlnadel umgekehrt, und die Ablenkung wiederum abgelesen. Das Mittel dieser beiden Ablesungen ist in der Tafel angegeben. Der Magnetisirung wurden vier, aus englischem Gussstahle gefertigte, Nadeln unterworfen (38 Linien lang, $\frac{1}{12}$ Lin. dick), welche, wenn sie vor dem Versuche in den angegebenen Lagen die Bussolenadel ablenkten, bis zum Weissglühen erhitzt wurden. Geschah dies Ausglühen bei der Lage der Nadeln von Ost nach West, so war es leicht, sie unmagnetisch zu erhalten. In den Schliessungsbogen war hinter dem Thermometer eine $3\frac{1}{4}$ Zoll lange Magnetisirungsspirale eingeschaltet, welche, aus Kupferdraht schraubenrecht gewunden, die in einer Glasröhre liegende Stahlnadel aufnahm. Die Nadel wurde hier überall in gesetzmässigem Sinne magnetisirt, und erhielt daher ihren bezeichneten Pol an dem Ende, wo der Entladungsstrom die Spirale verlief. In den acht folgenden Versuchen, bei welchen ich die einzelnen Beobachtungen mittheile, bestanden die in Salzwasser (1 Chlornatrium und 2400 Wasser) tauchenden Elektroden aus einem, bis auf seine Endfläche mit geschmolzenem Siegellack bekleideten, $\frac{5}{8}$ Linie dicken Kupferdrahte, und einer 4 Linien dicken Messingkugel, die vom Drahte $\frac{3}{4}$ Linie entfernt war. Da hier Ladungen der 3 Batteriefaschen zwar mit derselben Menge 12, wie früher, aber verschiedener Elektrizitätsart gebraucht wurden, so ist die Lage der Drahtelektrode gegen die Belegungen der Batterie angegeben.

Ladung mit negativer Elektricität.

Drahtelektrode zunächst der innern		der äußern Belegung d. Batterie.	
Erwärmung.	Ablenkung d. Bussole.	Erwärmung.	Ablenk. d. Buss.
2,7	56°,7	36,5	21°,5
2,8	49°,2	37,6	20°,8
3,1	49°,0	32,0	25°,5

Ladung mit positiver Elektricität.

33,2	27°,2	2,7	54°,7
33,5	22°,0	2,2	44°,9
33,3	24°,6	3,0	49°,6

Diese Versuche zeigen auf das Deutlichste, daß die Funkenentladung, welche die kleinere Erwärmung hervorbringt, eine bedeutend stärkere Magnetisirung der Nadeln verursacht, daß Erwärmung und Magnetisirung unabhängig von der Elektricitätsart sind, mit der die Batterie geladen worden, und daß ihre Gröfse allein durch die Richtung des Entladungsstromes, und zwar hier in entgegengesetztem Sinne, bestimmt wird.

Die folgenden vier Versuche sind mit den Elektroden der Reihe V in Salzwasser angestellt, daß 1 Chlornatrium und 805 Wasser enthielt. Die Batterie war mit positiver Elektricität geladen worden.

Die Drahtelektrode

zunächst der innern		der äußern Belegung d. Batterie.	
Erwärmung.	Ablenkung d. Bussole.	Erwärmung.	Ablenk. d. Buss.
33,1	24°,7	1,2	48°,5
35,7	21°,2	1,2	51°,5
33	21	1,2	48°,1

In allen Versuchen, die ich mit denselben Nadeln angestellt habe, kam keine Ausnahme von der Regel vor, daß die schwächere Funkenentladung stärker magnetisirend wirkt, als die stärkere. Bei den bekannten Eigenthümlichkeiten der Magnetisirung würde es indess nicht auffallen, wenn bei Nadeln von andern Dimensionen, oder bei anderer Ladung der Batterie, diese Regel ungültig wäre. Es kommt hier nur auf die Verschiedenheit der Magnetisirung, nicht darauf an, in welchem Sinne sie sich äußert.

Die so auffallend verschiedenen Wirkungen, von scheinbar gleichen Entladungen der Batterie hervorgebracht, haben nicht nur in dem Gebiete Interesse, dem sie angehören, sondern verdienen auch in andern Gebieten der Elektrizitätslehre Beachtung. Nehmen wir an, es fehlte uns das Mittel, die in einer Batterie angehäuften Elektrizitätsmengen zu messen, und wir wollten diese Menge aus den Wirkungen beurtheilen, welche scheinbar gleiche Funkenentladungen in demselben Schließungsbogen hervorbringen. Dann würden wir die Mengen positiver und negativer Elektrizität, mit welchen die Batterie in den Versuchen dieser Abhandlung geladen war, für sehr ungleich erklären, und damit einen Fehlschluss begehen. Was hier für discontinuirliche Entladungen bewiesen worden ist, findet sehr wahrscheinlich auch bei vielen, scheinbar continuirlichen Entladungen statt, und ich habe mit Befriedigung durch diese Versuche eine Meinung unterstützt gefunden, die ich vor längerer Zeit ausgesprochen habe. Aus den Wirkungen bewegter Elektrizität läßt sich nur dann auf die dabei verbrauchten Elektrizitätsmengen schließen, wenn wir gewiß sind, daß die Art der Entladung bei ihnen dieselbe gewesen ist.

II. *Ueber die Länge der Elektromagnete;* *von Dr. Julius Dub.*

Alle Versuche, die bisher über die Länge der Elektromagnete angestellt worden sind, haben noch keinen genügenden Aufschluß über sämtliche Erscheinungen gegeben, die sich in den verschiedenen Fällen darbieten. Schon früher ist hervorgehoben, daß ein Unterschied zwischen der Wirkung eines Hufeisens und der eines Stabes aus dem Grunde stattfinden müsse, weil durch das Auflegen

des Ankers in beiden Fällen eine verschiedene Vertheilung des Magnetismus bewirkt wird. Während nämlich bei einem Stabmagneten durch das Anlegen eines zweiten Stabes als Anker der in dem Magnetstabe vorhandene Nullpunkt aus seiner Stelle gerückt wird, findet dies bei einem Hufeisen nicht statt. Die Art der Wirkung eines Hufeisens ist eine ganz andere als die eines Stabes und es kann daher nicht Wunder nehmen, wenn die Gesetze auch in beiden Fällen nicht gleich sind.

In Bezug auf die Hufeisen ergiebt sich nach Müller's Versuchen, was auch ich bestätigt gefunden habe,

„dass die Anziehung dieselbe ist bei jeder beliebigen Länge der Schenkel und derselben magnetisirenden Kraft“¹⁾.

In Uebereinstimmung hiermit stellen Lenz und Jacobi auch für die Stabelektromagnete den Satz auf:

„dass der Magnetismus der Endflächen bei Elektromagneten, die ihrer ganzen Länge nach mit elektromagnetischen Spiralen bedeckt sind, von der Länge dieser Stangen unabhängig ist, und bei gleichen Strömen bedingt wird durch die Anzahl der darauf befindlichen Windungen“²⁾.

Es ist hierbei nicht ausdrücklich gesagt, dass Stabmagnete gemeint seyen, doch ergiebt die Darstellung, dass die Experimentatoren es so ansehen, obgleich ihr Experiment so eingerichtet ist, dass sie Hufeisenwirkung erhalten, wie man aus der Beschreibung des Versuchs leicht ersieht. Somit wäre hiernach die Sache einfach erledigt, wenn die HH. Lenz und Jacobi nicht später noch andere Versuche als Bestätigung des obigen Satzes und der genannten Versuche anführten, welche wirklich Versuche mit Stabelektromagneten sind. Sie sprechen sich daher in Folge der letztgenannten Versuche, auf die wir sogleich wieder zurückkommen werden, ebenfalls für den Satz aus, *dass die Länge der Stäbe ohne Einfluss ist.*

Mehrere früher von mir zu anderen Zwecken angestellten Versuche zeigten Resultate, welche mich zwangen dem

1) Müller, Phys. Bericht Bd. I, S. 531 und diese Ann. Bd. 90, S. 453.

2) Diese Annalen Bd. 61, S. 268.

hier aufgestellten Satze zu widersprechen. Gemäß der nachfolgenden Untersuchungen muß ich diesen Widerspruch aufrecht erhalten und zugleich bemerken, daß die von Lenz und Jacobi angestellten Versuche nur einige specielle Fälle behandeln, in denen zufällig der von ihnen aufgestellte Satz gilt, ohne daß er deshalb das allgemeine Gesetz der Wirkung der Stabelektromagnete darstellte.

Wie diese Versuche nicht maßgebend sind, ebensowenig liefert aber auch eine von mir in Bd. 81, S. 52 dieser Annalen aufgestellte Versuchsreihe einen Beweis *gegen* den von Lenz und Jacobi ausgesprochenen Satz. Ich habe dort mit 1" dicken Mag-

neten von	9"	12"	18"	24"
als Tragkräfte erhalten:	2,6 Pfd.	3,27 Pfd.	3,6 Pfd.	3,8 Pfd.

Aus dieser Reihe habe ich den Schluß gezogen, daß die Länge der Magnete nicht ohne Einfluß auf die Anziehung und Tragkraft sey. Allein diese Reihe enthält, wenn sie zum Beweise des Satzes dienen soll, nothwendig Fehler in Folge der Anordnung des Experiments. Da nämlich die Versuche eigentlich Behufs der Prüfung der Elektromagnete Hinsichts ihrer Wirkung auf Entfernung angestellt waren, so trugen die Magnete an dem Pole eine Messinghülse, welche bewirkte, daß die Spirale nicht bis dicht an den Pol gebracht werden konnte, sondern stets 3" von demselben entfernt blieb. Nun ist aber gerade die Entfernung der Spirale vom Pol von bedeutendem Einfluß auf die Anziehung, wie ich das schon an Hufeisen in diesen Annalen Bd. 90, S. 478 nachgewiesen habe. Hätte dieser Einfluß nicht hervortreten sollen, so mußte die Entfernung der Spirale vom Pol selbst proportional der Länge der Magnete zunehmen. Wäre nämlich die Spirale, während sie bei dem 9" langen Magneten $\frac{3}{4}$ " vom Pole entfernt war, bei dem 12 zölligen 1" und bei dem 24 zölligen 2" vom Pol entfernt gewesen, so würde nach den hier folgenden Untersuchungen die Tragkraft wie die Anziehung für diese Magnete gleich gewesen seyn.

Wenn ich nun aber die von mir zum Beweise des

Satzes, daß die Anziehung sich mit der Stablänge vergrößere, angeführten Versuchsreihen für werthlos erklären muß, so kann ich andrerseits eine Reihe von Lenz und Jacobi als *Begründung* meiner Behauptung heranziehen. Sie machen nämlich folgende zwei Versuche ¹⁾: »Das Ende eines 3füßigen Eisencylinders war mit einer 6" langen Inductionsspirale, der übrige Theil desselben von $2\frac{1}{2}$ ' Länge mit fünf galvanischen Spiralen, jede von 6" Länge bedeckt, die nach und nach mit der Batterie in Verbindung gesetzt wurden.« Sie erhalten folgende Reihe:

Anzahl der galvanischen Spi- ralen = n	Stärke des Inductionsstro- mes = M	$\frac{M}{n}$
1	0,13290	13390
2	0,23980	11990
3	0,31541	10514
4	0,36285	9071
5	0,37278	7456

»Die in der ersten Colonne befindlichen Zahlen geben die jedesmalige Anzahl der elektromagnetischen Spiralen an und zwar von der Inductionsspirale an gerechnet. Die dritte Colonne giebt die Inductionsströme dividirt durch die Anzahl der Spiralen, woraus man, *wie sich auch erwarten liefs*, ersieht, daß bei einer solchen Anordnung die magnetisirende Wirkung der vom Ende entfernter liegenden Spiralen abnimmt und nicht compensirt wird durch die früher erwähnte gegenseitige Verstärkung.«

Der darauf folgende Versuch, den Lenz und Jacobi anstellen, wird von ihnen in folgender Weise beschrieben: »Aehnliche Versuche, wie die so eben angeführten, wurden nun mit den sechs verschiedenen Eisencylindern von 1', $1\frac{1}{2}$ ', 2', $2\frac{1}{2}$ ', 3' Länge angestellt, die zu früheren Versuchen gedient hatten. Bei jedem derselben war das eine Ende auf 6" Länge mit einer Inductionsspirale, der übrige Theil aber mit verhältnißmäßiger Anzahl galvanischer Spiralen

1) Diese Annalen Bd. 61, S. 462.

bedeckt. Die Zahlen der vierten Colonne geben die Magnetisirungskraft einer Spirale oder den Inductionstrom, dividirt durch die Anzahl der Spiralen an.«

Länge der Eisen- cylinder	Anzahl der galvanischen Spiralen = n	Stärke des In- ductionstrome = M	$\frac{M}{n}$
1'	1	0,07432	7432
1½'	2	0,15858	7929
2'	3	0,23556	7852
2½'	4	0,28522	7105
3'	5	0,40474	8005

Lenz und Jacobi sagen nun: »dafs 6" lange, mit einer Inductionsspirale bedeckte Stück der Eisencylinder kann man aber als einen Anker betrachten, der in der innigsten Berührung mit dem Elektromagneten steht, weil er mit demselben *eins* bildet. Auch hier zeigen die Zahlen der vierten Colonne keine ganz vollkommene Uebereinstimmung, aber auch keinen specifischen, die oft erwähnten Fehlerquellen überwiegenden Einfluß der Länge, so dafs auch für diesen Fall die Stärke des Magnetismus nicht durch die Länge der Eisenstangen an sich, sondern allein durch die Anzahl der elektromagnetischen Spiralwindungen bedingt ist.«

In diesem letzten Falle erhalten sie also in der That keine Wirkung der Länge der Eisenkerne; aber dieser Fall unterscheidet sich von dem ersten allein dadurch, dafs bei jenem die Länge der Kerne eine andere ist als hier. Wäre die Länge der Eisenstangen überhaupt ohne Einfluß, so müßten die Zahlen der ersten Tabelle den hier erhaltenen gleich oder wenigstens nur durch einen constanten Factor von jenen verschieden seyn. Die in der ersten Tabelle auftretenden Verschiedenheiten der Quotienten beweisen im Vergleich mit dieser letzten Tabelle, dafs nicht immer die Länge der Stäbe ohne Einfluß ist. Zwar sagen Lenz und Jacobi, es liefse sich bei der Anordnung des ersten Versuchs erwarten, dafs die magnetisirende Wirkung der vom Ende entfernter liegenden Spiralen ab-

nimmt; allein wir werden später Gelegenheit haben zu zeigen, daß auch bei dem zweiten Versuche nicht immer Gleichheit der besagten Quotienten statt findet, sondern auch hier Verschiedenheiten eintreten, die nach obigem Gesetz nicht statthaft sind. Ich entschloß mich aus diesen Gründen zu einer wiederholten Untersuchung der vorliegenden Frage. Vor allen Dingen ist zu beachten, daß, wenn von der Länge der Elektromagnete die Rede ist, man unterscheiden muß, ob der Kern bei gleichbleibender Spirale allein an Länge zunimmt oder ob auch die Spirale zugleich verlängert wird. Findet der letztere Fall statt, so kann einerseits das Wachsen der Spirale darin bestehen, daß auf dem verlängerten Kern die Windungszahl der galvanischen Spirale so weit vermehrt wird, bis der Kern ganz bedeckt ist, oder andererseits darin, daß die *vorhandene* Windungszahl über die vergrößerte Länge des Kernes ausgebreitet wird, so daß sie diesen wieder ganz bedeckt.

Von diesen drei Fällen haben Lenz und Jacobi nur die ersten beiden theilweise untersucht und sind dabei zufällig auf solche Fälle gekommen, die ihr Gesetz rechtfertigen. Sie haben untersucht, erstens, welche Erscheinungen sich bei Magneten zeigen, die nicht ihrer ganzen Länge nach mit Spiralwindungen bedeckt sind, sondern bei denen die Windungen nach *beiden* Enden hin zusammengeschoben waren und zweitens, welchem Gesetze die Anziehung solcher Magnete folgt, die mit der vergrößerten Länge des Kernes auch in demselben Maasse mehr Windungen tragen. Der dritte Fall ist bisher noch gar nicht experimentell geprüft, obschon er unzweifelhaft zur Ergründung des Gesetzes, nach welchem die Stablänge wirkt, wegen der geringeren Anzahl der ins Spiel kommenden Momente, am meisten geeignet ist.

Bevor ich zur Darstellung der Untersuchungen schreite, die ich zur Prüfung des dritten Falles unternommen habe, muß ich noch einige Bemerkungen über die Art, wie die Versuche angestellt wurden, vorausschicken.

Um stets alle erhaltenen Resultate auch ihrem absoluten Werthe nach mit einander vergleichen zu können, wählte ich bei sämtlichen Versuchen dieselbe Stromstärke und dieselbe Windungszahl, oder besser gesagt, ich wandte stets dieselbe magnetisirende Kraft an. Weil dadurch, nachdem sich erst eine Gesetzmäßigkeit in dem Vorgange herausgestellt hatte, eine Menge anderer Fälle sich als gleich herausstellen mußten, wenn das Gesetz richtig seyn sollte, und andrerseits, sobald unter verschiedenen Verhältnissen Gleichheit der Werthe erschien, die Gesetzmäßigkeit augenfälliger wurde; so trug dieß Mittel nicht wenig zur Erkennung des Gesetzes bei.

Das Wesen der meisten hier angestellten Versuche bestand darin, daß dieselbe Windungszahl der galvanischen Spirale auf größere Längen ausgedehnt oder zu kürzeren zusammengeschoben wurde. Bei der Verschiedenheit der Längen der Eisenkerne aber, welche bei den folgenden Untersuchungen zur Anwendung kamen, wäre es sehr mühsam gewesen, eben so viele verschieden gewickelte Spiralen von derselben Windungszahl herzustellen. Dieß wurde vermieden durch Anwendung des Satzes, daß der freie Magnetismus dem Product aus Stromstärke und Windungszahl proportional ist. Hiernach war es nur nöthig, bei der gewünschten Ausdehnung einer Spirale auf eine größere Länge, die Windungszahl zu vernehmen und in demselben Verhältniß die Stromstärke zu vermindern, so daß das Product aus beiden eine constante Zahl blieb. Die constante Zahl ist bei den hier folgenden Versuchen, wenn es nicht besonders angeführt wird 336.0,36397. Sie bedeutet die Anzahl der Windungen einer Spirale, welche 1" weit und etwa 11" lang ist, multiplicirt mit der Tangente des Winkels von 20° , um den der angewandte Strom die Nadel der Tangentenbussole ablenkte. Hiernach war jede andere Stromstärke bei Vergrößerung oder Verringerung der Windungszahl im Voraus berechnet und in eine Tabelle zusammengestellt worden. Ich nenne in der Folge das Product aus Stromstärke und Windungszahl der Kürze

wegen „magnetisirende Kraft“ oder elektromagnetischen Effect.

I. Der freie Magnetismus der Stabelektromagnete von verschiedener Länge.

Wie bei den Versuchen über die Wirkung der Kern-durchmesser ¹⁾ wurde auch hier der freie Magnetismus mittelst der Ablenkung einer Magnetnadel gemessen. Der Stabmagnet lag mit seiner Längsaxe genau senkrecht gegen den magnetischen Meridian und in der Verlängerung der Axe befand sich die an einem Coconfaden hängende Magnetnadel, auf welche der Magnet wirkte. Die Nadel hat 1' Länge und ist auf einem 6" langen Kupferstäbchen behufs des besseren Ablesens befestigt.

In eine 6" lange Spirale mit 156 Windungen wurden nun Eisenkerne von verschiedener Länge und 1" Durchmesser in der Weise eingeführt, daß sie auf der der Bussole zugekehrten Seite nicht hervorstanden. Die Entfernung des nächsten Poles von der Mitte der Nadel betrug bei obigen Messungen 21", während eine Stromstärke angewandt wurde, welche die Nadel der Tangentenbussole auf 20° ablenkte. Es ergab sich folgende Reihe:

I			
Magnet	6" lang	$9\frac{1}{2}^{\circ} = \text{tg } 0,16$	
"	9 "	$14\frac{1}{2}$	tg 0,25
"	12 "	20	tg 0,36
"	15 "	$21\frac{1}{2}$	tg 0,39
"	18 "	23	tg 0,42
"	21 "	$25\frac{1}{2}$	tg 0,48
"	24 "	$26\frac{1}{2}$	tg 0,5

Ein Versuch mit einer 12" langen Spirale und doppelter Windungszahl als die vorige ergab bei derselben Stromstärke nachstehende Reihe:

1) Diese Annalen Bd. 90, S. 250.

II.

Magnet	12" lang	$27\frac{1}{2}^{\circ}$	$= \text{tg } 0,52$
"	15 "	$33\frac{1}{4}$	$\text{tg } 0,66$
"	18 "	$38\frac{1}{2}$	$\text{tg } 0,79$
"	21 "	$41\frac{1}{2}$	$\text{tg } 0,88$
"	24 "	$42\frac{3}{4}$	$\text{tg } 0,92$

Diese beiden Reihen zeigen eine beständige Zunahme mit der Länge der Eisenkerne und gleicher magnetisirender Kraft, ohne daß sich diese Zunahme als eine einfache Function der Länge herausstellte. Sie ist geringer als die Länge der Kerne selbst und größer als die Wurzeln derselben. Aehnliche Resultate ergab eine Reihe mit Kernen von verschiedener Länge, bei denen immer die magnetisirende Kraft über die ganze Länge derselben ausgebreitet wurde.

III.

Magnet	6" lang	19°	$= \text{tg } 0,43$
"	9 "	$26\frac{1}{2}$	$\text{tg } 0,5$
"	12 "	$31\frac{1}{4}$	$\text{tg } 0,61$
"	15 "	$34\frac{1}{4}$	$\text{tg } 0,68$
"	18 "	39	$\text{tg } 0,81$
"	21 "	40	$\text{tg } 0,83$
"	24 "	$41\frac{1}{2}$	$\text{tg } 0,88$

Bei den hier angegebenen Graden der Nadelablenkung ist die durch die Spirale *allein* bewirkte Ablenkung abgezogen. Auch hier läßt sich kein einfaches Gesetz in der Zunahme des freien Magnetismus erkennen. Wenn bei derselben Untersuchung in Bezug auf die Kerndurchmesser sich der freie Magnetismus den Wurzeln der Durchmesser proportional zeigte, so konnte dies darin seinen Grund haben, daß die Kerne von gleicher Länge blieben. Die Wirkung auf die Magnetonadel ist nämlich einerseits von der Menge der magnetischen Theile, andererseits von der Entfernung beider Pole von einander, d. h. von der Länge des Stabes abhängig; denn jede einzelne Windung der galvanischen Spirale richtet in ihrem Querschnitt die Molecularströme in einem bestimmten Grade, d. h. sie bringt

eine bestimmte Menge Magnetismus hervor. Bei verschiedenem Durchmesser des Eisenskerns müssen nun um so mehr Moleculé gerichtet werden, je gröfser jener ist, wogegen bei verschiedener Länge und demselben Durchmesser in um so mehr Schichten von jeder einzelnen aus Magnetismus inducirt werden mufs. Der durch eine bestimmte Anzahl von Windungen hervorgerufene Magnetismus ist also sowohl eine Function der Länge als des Durchmessers des Eisenskerns. Bei den Magneten von verschiedener Länge kommt nun aber Hinsichts der Nadelablenkung noch die Entfernung der Pole mit hinzu, weil der der Nadel zugekehrte Pol eine um so gröfsere Kraft auf sie ausübt, je weiter der entgegengesetzte Pol entfernt ist. Diese Wirkung fällt bei Stäben von gleicher Länge und verschiedenem Durchmesser weg, weil da die Entfernung der Pole dieselbe bleibt.

Es fragt sich nun, welche Erscheinungen sich bei den verschiedenen Längen der Kerne unter Verhältnissen zeigen werde, in denen ebenfalls der gröfsere oder geringere Abstand der Pole von der Nadel wirkungslos gemacht ist. Um diefs herzustellen, wählte ich Hufeisenmagnete von verschiedener Länge, deren Schenkel in gleichem Abstände von einander blieben, so dafs auch die Entfernung beider Pole bei jeder beliebigen Länge des ganzen Stabes gleich war. Diese, in bestimmter Entfernung von der Nadel aufgestellt, mufsten die Wirkung der gröfseren Länge des Stabes zeigen, ohne die Ablenkung der Nadel durch den verschiedenen Abstand beider Pole von einander zu ändern. Freilich wird durch die Hufeisenform der Einflufs der Pole auf *einander* verstärkt; da wir es jedoch hier nur mit Verhältniszahlen zu thun haben und ja der verstärkende Einflufs der Pole auf einander ebenfalls im Verhältnifs des gesteigerten Magnetismus wachsen mufs, so kann diefs in dem vorliegenden Falle die Erscheinung nicht abändern.

Die Messung wurde zunächst mit einem 1" dicken Hufeisen, dessen Schenkelaxen 5" von einander entfernt waren, in der Weise angestellt, dafs der Magnet senkrecht

mit den Polen nach unten stand. Die Pole befanden sich in gleicher Höhe mit der Nadel und ihre Verbindungslinie stand genau senkrecht gegen den magnetischen Meridian. Wandte ich ein Hufeisen an, dessen Schenkel 4" lang waren, so bildete dies mit dem dazwischen liegenden 5" langen Verbindungsstück einen 13" langen Stab. Die Länge der Schenkel wurde vergrößert von 4" bis 24", mithin waren Stäbe in Anwendung, deren Länge zwischen 13" und 53" variierte.

IV.

l	\sqrt{l}	m	$\operatorname{tg} m$	$\frac{\operatorname{tg} m}{\sqrt{l}}$
13"	3,605	$19\frac{1}{2}^{\circ}$	0,3541	0,0982
17	4,123	$22\frac{1}{4}$	0,4091	0,0991
23	4,796	25	0,4663	0,0972
29	5,385	28	0,5317	0,0987
53	7,348	$35\frac{1}{2}$	0,7134	0,098

Die erste mit l überschriebene Colonne giebt die Länge der Magnete, die zweite (\sqrt{l}) die Wurzeln dieser Länge, die dritte (m) enthält die Ablenkung der Nadel bei einer Entfernung von 21" vom nächsten Pol; die vierte ($\operatorname{tg} m$) enthält die Tangenten dieser Ablenkungswinkel und die letzte die Quotienten der Werthe der vierten Reihe durch die der zweiten.

Die Resultate der fünften Reihe setzen es außer Zweifel, daß der freie Magnetismus von Stabmagneten, deren Pole gleich weit von einander entfernt bleiben, sich wie die Wurzeln der Stablängen verhält, wenn die Kerne ihrer ganzen Länge nach mit einer galvanischen Spirale bedeckt sind, die dieselbe Windungszahl hat und von demselben Strome durchflossen wird.

Außer diesen Versuchen mit den 1" dicken Stäben wurden noch $\frac{1}{2}$ " und 2" dicke geprüft. Sie zeigten dieselben Erscheinungen.

V.

Länge u. Dicke der Magnete		\sqrt{l}	m	$\lg m$	$\frac{\lg m}{\sqrt{l}}$
17"	$\frac{1}{2}$ "	4,123	$14\frac{3}{4}^0$	0,25397	0,0616
23	$\frac{1}{2}$	4,796	$16\frac{1}{2}$	0,29622	0,0617
29	$\frac{1}{2}$	5,385	$18\frac{1}{2}$	0,3346	0,0621
17	2	4,123	$28\frac{1}{4}$	0,53732	0,13
29	2	5,385	$37\frac{3}{4}$	0,77427	0,145

Trotz der Abweichungen, welche besonders bei den 2" dicken Stäben hervortreten, müssen wir doch auch diese Versuche als Beweis des obigen Satzes anerkennen.

II. Anziehung und Tragkraft der Stabelektromagnete.

Nach den früheren Beobachtungen über die Anziehung der Stabelektromagnete war nicht zu erwarten, daß Stäbe von verschiedener Länge, die ihrer ganzen Ausdehnung nach mit der galvanischen Spirale bedeckt sind, eine Anziehung auf einen und denselben Anker üben würden, welche den so eben erhaltenen Resultaten der Wirkung der Eisenstäbe auf eine frei schwebende Magnetnadel entspräche.

Um das Resultat, besonders beim Messen der Tragkraft, nicht durch mangelhafte Berührung getrübt zu sehen, wählte ich eine Eisenkugel von 1" Durchmesser als Anker. Sie ergab folgende Anziehungskräfte mit Magneten von 6" bis 24" Länge und 1" Durchmesser.

VI.

Magnet 6" lang			Tragkraft.	Anziehung.
			1,9 Pfd.	0,93 Pfd.
"	9	"	1,95 "	0,95 "
"	12	"	1,95 "	0,9 "
"	18	"	1,8 "	0,8 "
"	21	"	1,85 "	0,86 "
"	24	"	1,8 "	0,8 "

Diese Reihe zeigt, daß bei Stabelektromagneten von verschiedener Länge die Wirkung auf denselben Anker nicht aus der Kraft erschlossen werden kann, mit der der freie Magnetismus eines Poles eine in Entfernung aufgestellte Magnetnadel ablenkt, sondern daß diese Anziehungskraft von anderen Bedingungen abhängig ist. Eine Versuchsreihe mit einem 6" langen Anker von 1" Durchmesser und dem oben angewandten Magneten zeigte eine noch genauere Uebereinstimmung sämtlicher Trag- und Anziehungskräfte als die vorige.

VII.

Länge d. Magnete.	Tragkraft.	Anziehung.
6"	4,2 Pfd.	1,4 Pfd.
9	4,6 "	1,3 "
12	4,5 "	1,4 "
15	4,2 "	1,3 "
18	4,5 "	1,35 "
24	4,4 "	1,4 "

Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, daß die hier stattfindenden Abweichungen von der Gleichheit sämtlicher Zahlen nicht gesetzmäßig, sondern durch Specialitäten hervorgerufen sind, unter denen in den vorliegenden Fällen bessere oder schlechtere Berührung wahrscheinlich der einzige Grund ist. Diefes läßt sich besonders daraus schließen, daß in manchen Fällen bei größerer Tragkraft geringere Anziehung, als in dem vorhergehenden Versuch, so wie auch das Umgekehrte auftritt.

Die mit Anziehung überschriebene Colonne wurde hier wie in allen folgenden Fällen dadurch erhalten, daß zwischen Anker und Magnet ein Blatt Papier gelegt war.

Die beiden Versuchsreihen No. VI und VII stimmen, wenn wir die Versuchsergebnisse der ersteren Reihe auch als gleich ansehen, mit den von Lenz und Jacobi angestellten Versuchen insofern überein, als sich gleiche Kräfte bei verschiedenen Magneten zeigen. Da jedoch diese Phy-

siker die bei ihren Untersuchungen erhaltenen Kräfte den freien Magnetismus nennen, so wird man veranlaßt zu fragen, was unter freiem Magnetismus verstanden werden soll, wenn die Wirkung, die ein abgerissener Anker auf die ihn umgebende Inductionsspirale ausübt, so genannt wird, und sich dabei Gleichheit der Kraftäusserung findet, während die obigen Messungen mit der Magnetnadel eine Zunahme mit der Länge der Magnete erwiesen haben. Nach der Erklärung, welche Lenz und Jacobi selbst in Bd. 61 S. 273 dieser Annalen über den freien Magnetismus geben, verdient die Wirkung auf eine Magnetnadel diesen Namen. Sie sagen nämlich an jener Stelle: »Bei dem freien Magnetismus in einem Magnetstabe ist die Rede von der Wirkung des Magnetismus auf einen außerhalb befindlichen Punkt u. s. w.« — Freilich ist die Wirkung auf einen Anker auch eine auf außerhalb liegende Punkte, allein da die Resultate, welche diese Wirkung ergiebt, so ganz von denen, die die Magnetnadel zeigt, abweichen, so sieht man sich veranlaßt, diese Wirkung nicht als eine der obigen analoge anzusehen und mithin nicht freien Magnetismus zu nennen.

Es ist nun die Frage, ob unter allen Verhältnissen die Länge der Elektromagnete ohne Einfluß auf die Anziehung ist, während doch die Wirkung der Stablängen auf eine Magnetnadel sich als unzweifelhaft herausstellt. Bei der Untersuchung der Stäbe Hinsichts des Durchmessers hatte sich Proportionalität mit demselben ergeben, wenn der Anker wie die Stäbe an Durchmesser zunahm. Sollte der Versuch jenen analog angestellt werden, so mußten hier die Anker den Stäben proportional wachsen. Die nachstehende Tabelle zeigt, daß für diesen Fall sich dann allerdings ziemlich genau die Anziehung und Tragkraft der Länge proportional ergiebt, wobei auch, wie in allen anderen Fällen, zu beachten ist, daß die Anziehung genauere Resultate zeigt als die Tragkraft.

VIII.

Anziehung und Tragkraft bei gleicher Länge und Dicke von Magnet und Anker.

Magnet u. Anker.	Tragkraft.	Anziehung.
6" lang	4,2 Pfd.	1,25 Pfd.
9 "	6 "	1,8 "
12 "	8,2 "	2,55 "
18 "	11,6 "	3,7 "
24 "	15,5 "	5,6 "

Eine andere Versuchsreihe, in der der Anker jedesmal halb so lang als der Magnet genommen wurde, zeigte als Anziehung die eben erhaltenen Gewichte, also auch Proportionalität mit den Längen der Stäbe.

IX.

Anziehung und Tragkraft verschiedener Systeme von Magneten und Anker, welche gleichen Durchmesser und deren Anker die halbe Länge des Magneten haben.

Länge d. Magnete.	Tragkraft.	Anziehung.
6"	2 Pfd.	0,7 Pfd.
12	4 "	1,55 "
18	6,8 "	2,2 "
24	8,2 "	3,1 "

Aus diesen Versuchen scheint nun der Satz zu folgen, daß die Anziehung den Ankern proportional wachse. Da sich jedoch aus dem Folgenden ergibt, daß diese Proportionalität mit den Ankern *allein* nicht durchweg statt hat, so kann aus den obigen Reihen kein anderer Schluss gezogen werden, als daß die Anziehung den Längen der Magnete proportional ist, wenn die Anker in demselben Verhältniß wachsen. Hält man diesen Satz mit dem zusammen, was vorn über den an den Ankern mittelst der Inductionsspirale beobachteten freien Magnetismus bemerkt worden, so kommt man zu der Aussicht, daß man zu einem Gesetz über die Anziehung gelangen werde, wenn man Anker und Magnet als ein Continuum betrachtet.

Wir wollen somit Anker und Magnet als *einen Stab* ansehen und dies ein magnetisches System nennen. Dadurch, daß dieser Stab an verschiedenen Stellen durch-

schnitten wird, entstehen aus einem Stabe verschiedene Systeme. Die Vertheilung des Magnetismus wird in diesen verschiedenen Systemen dadurch jedesmal eine andere, dafs wir den einen Theil desselben stets seiner ganzen Länge nach mit der galvanischen Spirale bedecken, und so in dem früher angegebenen Sinne sämmtliche angewandten Magnete ihrer ganzen Länge nach durch dieselbe *magnetisirende Kraft* erregen.

In dem vorliegenden Falle wurden drei Gruppen von Systemen angewandt, deren erste durch einen Stab von 24", die zweite durch einen von 36" und die dritte durch einen von 48" Länge gebildet wurde. Alle drei Stäbe waren in der Weise von der Mitte an durchschnitten, dafs der kürzere Theil als Anker an Länge bis auf einen Zoll abnahm.

X.

Systeme von 24" Länge.

Magnet	12"	Anker	12"	Tragkraft.	Anziehung.
				7,8 Pfd.	2,55 Pfd.
"	15	"	9	5,4 "	2 "
"	18	"	6	4,1 "	1,2 "
"	21	"	3	2 "	0,64 "
"	22	"	2	1,4 "	0,42 "
"	23	"	1	0,75 "	0,2 "

XI.

Systeme von 36" Länge.

Magnet	18"	Anker	18"	Tragkraft.	Anziehung.
				11,6 Pfd.	3,7 Pfd.
"	24	"	12	8,2 "	2,6 "
"	30	"	6	4,3 "	1,3 "
"	33	"	3	2 "	0,65 "
"	34	"	2	1,35 "	0,36 "
"	35	"	1	0,6 "	0,2 "

XII.

Systeme von 48" Länge.

Magnet	24"	Anker	24"	Tragkraft.	Anziehung.
				16 Pfd.	5,6 Pfd.
"	30	"	18	10,9 "	4,2 "
"	36	"	12	8 "	2,5 "
"	42	"	6	4 "	1,2 "

Diese Reihen zeigen vor Allem den wichtigen Satz:

„Die Anziehung nimmt proportional dem Abschnitte eines magnetischen Stabes von der Mitte aus ab.“

Ich muß bemerken, daß ich diese in so vollkommener Weise das Gesetz darstellenden Reihen No. X, XI, XII nicht gleich Anfangs erhalten habe. Wie in allen Fällen, wo man die Anziehung oder gar die Tragkraft der Magnete mißt, werden die Resultate durch Versuchsfehler beim Abreißen des Ankers getrübt. Diese schon hinreichend besprochene Thatsache wird besonders dadurch hervorgerufen, daß der Anker, ehe er ganz losläßt, zuvor noch an einer Kante festhält. Dieses Kippen des abreisenden Ankers wird um so auffallender, je kürzer dieser im Verhältnisse zu seinem Durchmesser wird, so daß der angewandte 1" lange Anker, dessen Länge nicht größer als sein Durchmesser war, vor dem Abreißen einen Winkel von fast 45° mit der Polfläche bildete. Dadurch kam es, daß die Anziehung bei den kürzeren Ankern Anfangs *größer* wurde als die in den obigen Reihen verzeichneten Gewichte. Um nun zu bewirken, daß die kürzeren Anker keine andere Stellung zur Polfläche einnehmen könnten als die längeren, wurde in die kürzeren ein Messingstab eingeschraubt, mit dem sie dann einen festen Stab bildeten von derselben Länge wie die größeren Anker. Erst nach Anwendung dieses Mittels ergaben sich die vorn angeführten Trag- und Anziehungskräfte.

Wir haben bisher in allen Reihen von No. VII bis XII gesehen, daß die Anziehung und Tragkraft den Längen der Anker proportional ist, allein schon vorn ist gesagt, daß dieser Satz keine allgemeine Gültigkeit habe. Aus einem früher, freilich nur an einem beschränkten Kreise von Versuchsreihen, gefundenen Satze nämlich ist die Anziehung dieselbe, wenn man das ganze System umkehrt, d. h. Anker zum Magnet und Magnet zum Anker macht. Wendet man diesen Satz auf den vorliegenden Fall an, so folgt daraus, daß sich dieselbe Anziehung ergeben würde, wie in den drei letzten Versuchsreihen, wenn man wie dort

die Anker, so hier die Magnete abnehmen liefse. Alsdann müßten die Magnete mit ihrer Länge so an Anziehungskraft abnehmen, wie bisher die Anker. Daraus würde dann folgen, daß bei magnetischen Systemen, welche dieselbe Länge haben, das Maximum der Anziehung stattfinden würde, wenn Anker und Magnet gleich lang sind, d. h. wenn das oben als ein Stab gedachte System in der Mitte durchschnitten wird.

Dieser letzte Satz müßte sich am genauesten dann herausstellen, wenn der einfachste Fall in der magnetischen Vertheilung statt hat, d. h. wenn sämtliche Moleculä durch den ganzen Stab gleichmäfsig erregt sind. Dieser Fall tritt aber ein, wenn der *ganze Stab* mit der galvanischen Spirale bedeckt ist. Schon Lenz und Jacobi ¹⁾ und später Van Rees ²⁾ haben dargethan, daß das Maximum der magnetischen Intensität eines Magnetstabes in der Mitte desselben liege, woraus dann allerdings folgt, daß auch beim Durchschneiden eines solchen Stabes diese beiden Theile sich mit der größten Kraft halten müssen, sobald der Durchschnitt in der Mitte liegt. Denken wir uns einen solchen Stab mit der Spirale in der Mitte durchschnitten, so erhalten wir zwei gleiche Magnete.

Um nun zunächst das Verhältniß der Anziehung verschieden langer Stabelektromagnete, die in der Mitte durchschnitten sind, zu prüfen, wählte ich drei Paare von Magneten, deren eines aus zwei 6zölligen, ein anderes aus zwei 9zölligen und ein drittes aus zwei 12zölligen Magneten bestand. Die Anziehung wurde wie bei den Ankern so gemessen, daß jedes Mal einer der Magnete feststand, während der andere, von derselben magnetischen Kraft erregt, an dem Abreißhebel in der Längsaxe des feststehenden aufgehängt war. Die Kräfte, mit denen die Magnete sowohl in Berührung als in Entfernung gehalten wurden, waren folgende:

1) Diese Annalen Bd. 61, S. 464.

2) Diese Annalen Bd. 70, S. 1.

XIII.

Länge d. Magnete.	Tragkraft.	Anziehung.
6"	4,2 Pfd.	1,2 Pfd.
9	6 "	1,8 "
12	8 "	2,5 "

Wir ersehen aus diesen Versuchen, *dafs die Tragkraft wie die Anziehung zweier gleicher Magnete genau der Länge derselben proportional ist.*

Vergleichen wir die hier erhaltenen Resultate mit denen in No. VIII, so sehen wir, dafs Tragkraft und Anziehung dieselben sind wie bei dem 6", 9" und 12" langen Magneten, der von derselben magnetisirenden Kraft, wie hier beide Magnete erregt wird und einen ihm gleichen Anker anzieht. Hieraus ergibt sich denn der Satz:

„Die Tragkraft und Anziehung zweier Stäbe ist dieselbe, mag die magnetisirende Kraft über die ganze Länge eines oder beider Stäbe ausgebreitet seyn.“

Dieser Satz findet in schon bekannten Sätzen seine Begründung. Es steht nämlich fest, dafs sich die Anziehung wie die Quadrate der Windungszahlen der elektromagnetischen Spirale verhält. Wird nun ein Elektromagnet bei demselben Strome mit der doppelten Windungszahl umgeben, so mufs der Anker mit der vierfachen Kraft gehalten werden. Umgiebt man aber, anstatt die doppelte Windungszahl auf den Magneten zu bringen, den Anker mit derselben Zahl von Windungen, wie den Magneten, so mufs jetzt der Anker auf den Magneten wie dieser auf jenen wirken, und es wird somit der Magnetismus im Anker wie im Magneten verdoppelt, d. h. die Anziehung wird die vierfache der vorigen.

Auch Lenz und Jacobi machen in diesen Annalen Bd. 47, S. 410 dieselbe Beobachtung, sie finden, dafs *„für gleiche magnetisirende Ströme die Anziehung zweier Elektromagnete etwa vier Mal stärker ist als die zwischen Elektromagnet und Eisen“*, wo natürlich zu bemerken ist, dafs die beiden gleichen Magnete auch gleiche Windungszahl haben. Da nach den früheren Versuchen ein System zweier glei-

cher Magnete, die wir beiläufig durch Durchschneiden eines; seiner ganzen Länge nach bewickelten, Stabes entstanden dachten, dasselbe Resultat giebt, wie ein gleiches System von Magnet und Anker, bei dem dieselbe magnetisirende Kraft über einen der Stäbe ausgebreitet ist; so lässt sich daraus schliessen, dass sich auch für den Fall gleiche Resultate herausstellen werden, wenn der obige Stab an andern Stellen als in der Mitte durchschnitten gedacht wird, d. h. dass die in den Versuchsreihen No. X, XI, XII erhaltenen Resultate dieselben seyn würden, wenn die magnetisirende Kraft das ganze System von Anker und Magnet bedeckte. Ist dies aber der Fall, so muss es gleichgültig seyn, welcher der beiden ungleichen Stäbe mit der magnetisirenden Kraft bedeckt ist. Es müsste daher in Folge dieser Schlüsse der schon vorher besprochene Satz wahr seyn, dass man Magnet und Anker mit einander vertauschen kann. Hieraus würde dann folgen, dass das Maximum der Anziehung stattfinden muss, wenn das System von Anker und Magnet oder zweier Magnete in der Mitte durchschnitten ist, d. h. wenn beide Theile gleich lang sind.

Alle diese Sätze, welche sich folgerecht aus den bisherigen Untersuchungen ergeben, habe ich nicht experimentell untersucht, sondern ich bin sogleich zur Prüfung des Satzes geschritten, der sich als das Endresultat aller obigen Schlüsse herausstellt und dessen experimentelle Bestätigung auch alle vorher erschlossenen Sätze als richtig darthun muss.

Gilt nämlich der Satz, dass die Anziehung proportional dem Abschnitt des Stabes nach dem Ende hin abnimmt, ebenso für den Magneten, wie wir es in den Reihen X, XI, XII für die Anker gefunden haben, so ergiebt sich daraus, dass die Anziehung proportional dem kürzeren Theile des ganzen Systemes ist und sich nicht nach der Länge des Systemes überhaupt richtet. Zur Prüfung dieses Satzes wurde nun die Anziehung und Tragkraft untersucht, welche ein 18" langer Anker mit Magneten von 4" bis 18" Länge und 1" Durchmesser zeigte.

XIV.

Anker 18" lang 1" dick.

Magnet 1" dick. 18" lang	Tragkraft. 11,5 Pfd.	Anziehung. 4,8 Pfd.
12 "	8 "	3,7 "
9 "	6 "	2,8 "
6 "	4,7 "	2,5 "
4 "	3,4 "	2,2 "

Wir finden den besprochenen Satz hier nur bis zu einer bestimmten Gränze bestätigt. Es zeigt sich bei den grösseren Dimensionen des Magneten noch ziemlich genau eine Abnahme der Anziehung, die der Länge proportional ist, wogegen die kürzeren Magnete, bei denen die magnetisierende Kraft sich mehr auf einen Punkt zusammenhäuft, eine stärkere Anziehung zeigen, als nach der oben beobachteten Proportionalität der Fall seyn müßte.

Diese Abweichung ist die einzige von dem hier in allen übrigen Fällen beobachteten Gesetze und läßt sich wohl aus der zu grossen Zusammenhäufung der magnetisierenden Kraft erklären. Die Anziehung würde jedoch auch für diesen Fall dem Gesetze vollkommen entsprechen, wenn die Spirale über das ganze System ausgebreitet wäre. Wie viel aber auch in der vorliegenden Reihe zu den Unregelmäßigkeiten der Resultate noch die Versuchsfehler beitragen, welche nämlich immer unverhältnismässig grösser werden mit der Stärke der Magnetisirung überhaupt, das beweist eine Versuchsreihe mit einem fast halb so starken Strom.

XV.

Magnetisirende Kraft 336. 0,2. Anker 18".

Magnet 18"	Tragkraft. 3,5 Pfd.	Anziehung. 1,7 Pfd.
" 15	3 "	1,5 "
" 12	2,8 "	1,3 "
" 9	1,9 "	0,9 "
" 6	1,2 "	0,6 "
" 4	1,1 "	0,5 "

Der obige Satz findet hier in viel vollkommenerem Maasse seine Bestätigung als in der vorigen Versuchsreihe, obgleich dessen ungeachtet die Abweichung von dem Gesetz bei immer kleiner werdendem Magnet nicht zu läugnen ist. Sie tritt aber um so stärker hervor, je stärker die magnetisirende Kraft ist.

Aus den beiden Sätzen, dafs 1) die Anziehung dem kürzeren Theile des ganzen Systemes proportional ist und dafs 2) bei dem Maximum der Anziehung, d. h. wenn das System in der Mitte durchschnitten, dieselbe der Länge des Systemes proportional ist, folgt unmittelbar der Satz:

„Die Anziehung ist der Länge verschiedener Systeme proportional, wenn diese proportional getheilt sind.“

So müssen also z. B. zwei Systeme von 24" und 36" Länge eine Anziehung im Verhältniß von 2:3 geben, wenn die Längen der Anker und Magnete sich wie 2:3 verhalten, also entweder 6" und 9" oder 12" und 18" etc. Länge haben. Wir finden aber aus No. X und XI, wenn wir die Anziehung für den 9zölligen Anker dem gefundenen Gesetz gemäß berechnen als Anziehung für die entsprechenden Anker.

6zölliger Anker des 24zölligen Systems :	4,1	Pfd.
9 " " " 36 " " :	6,24	"
12 " " " 24 " " :	7,8	"
18 " " " 36 " " :	11,6	"

Abgesehen von den Abweichungen, die keinesweges über die Gränzen der Versuchsfehler hinausliegen, bestätigen diese Zahlen, wie mehrere andere, die Wahrheit des obigen Satzes, aus welchem dann in Verbindung mit dem Satze: *die Anziehung ist dem kürzeren Theile des ganzen Systems proportional*, der wichtige Satz folgt:

Die Anziehung muß bei gleicher magnetisirender Kraft dieselbe seyn, wenn bei beliebiger Länge des ganzen Systems der kürzere Theil dieselbe Länge hat.

Es nimmt nämlich bei verschiedener Länge des ganzen Systems, aber gleichem Anker die Anziehung bei dem längeren System gerade in dem Verhältniß zu, als sie wegen

der verhältnißmäßigen Annäherung der Durchschnittsfläche an das Ende hin abnimmt. Hiernach muß also ein 6", 12", 18", 24" langer Magnet einen 6" langen Anker mit gleicher Kraft halten. Ein 4" langer wird von allen Magneten die länger sind als er mit $\frac{2}{3}$ der Kraft gehalten, mit welcher der 6" lange Anker gehalten wird, u. s. w. Die Versuchsreihe No. VII liefert den Beweis hierzu. Ebenso bestätigen die Tragkräfte und Anziehungen der Anker von gleicher Länge in den Reihen No. X, XI und XII den obigen Satz. Der 12" lange Anker wird angezogen

						Tragkraft.	Anziehung.
von dem 12" langen Magneten mit						7,8 Pfd.	2,55 Pfd.
"	"	24"	"	"	"	8,2 "	2,6 "
"	"	36"	"	"	"	8 "	2,5 "

Hiermit ist nun die Erklärung der wider Erwarten erhaltenen Resultate in No. VI und VII gegeben. Es wird daraus klar, daß man bei der Anziehung das ganze System von Anker und Magnet wie *einen* Stab ansehen muß, in dem der Magnetismus durch die galvanische Spirale in der ganzen Länge desselben vertheilt ist.

Um nun zu sehen, ob auch bei Anwendung von Ankern, welche länger sind als der Magnet, derselbe Satz gelte, habe ich eine Versuchsreihe ausgeführt, wo durch einen 6" lange 1" dicken Magneten Stäbe von 6" bis 24" Länge und 1" Durchmesser angezogen werden.

XVI.

Anziehung eines 6" langen 1" dicken Magneten.

	Tragkraft.	Anziehung.
Anker 6" lang	4,5 Pfund	1,9 Pfund
" 9" "	5,1 "	2,2 "
" 12" "	5 "	2 "
" 15" "	4,9 "	2,2 "
" 18" "	4,7 "	2,3 "
" 24" "	5 "	2,2 "

Auch in dieser Reihe müssen wir die Abweichungen der verschiedenen Gewichte von einander als Versuchs-

fehler ansehen, da kein Ueberwiegen zu Gunsten der längeren Anker stattfindet. Man ersieht aus dieser Reihe, daß Anziehung und Tragkraft dieselbe bleibt bei Ankern, die bis zu dem Vierfachen der Magnetlänge wachsen.

Wäre nun der vorn aufgestellte Satz, daß die Anziehung und Tragkraft von der Mitte des Systems nach beiden Seiten hin gleichmäfsig abnehmen, streng richtig, so müßten die hier erhaltenen Gewichte den in No. VII gefundenen, wo die Magnete wie die hier gebrauchten Anker variiren, gleich seyn. Wir finden aber etwas grössere Werthe als dort, so daß wir, wie schon bemerkt, bei diesem Satz hinzufügen müssen, daß die Anziehung bei dem Abnehmen des Magneten nach dem Ende des ganzen Systems hin etwas grösser wird als sie nach dem Verhältniß jener Abnahme seyn müßte. Nichts desto weniger können wir für die Praxis dieß Gesetz festhalten, da die Abweichungen in Fällen statthaben, die selten oder wohl nie zur Anwendung kommen.

Eine Zusammenstellung des bisher Gefundenen zeigt, daß alle Sätze, die wir an magnetischen Systemen beobachtet haben, welche auf der ganzen Länge eines oder beider Theile mit der von gleichem Strom durchflossenen galvanischen Spirale bedeckt sind, aus den beiden Gesetzen hervorgehen:

1. *»Die Anziehung und Tragkraft sind der Länge verschiedener Systeme proportional, wenn diese proportional getheilt sind.«*

2. *»Die Anziehung und Tragkraft verschiedener elektromagnetischer Systeme von gleicher Länge sind der Länge des kürzeren beider Theile proportional, wenn entweder ein Theil oder beide mit der galvanischen Spirale ihrer ganzen Länge nach bedeckt sind.*

Da nun der kürzere Theil sein Maximum erreicht, wenn er dem anderen gleich wird, so ergibt sich zunächst aus No. 2:

»Unter Systemen von gleicher Länge hat das das Maxi-

mun der Anziehung und Tragkraft, bei dem Anker und Magnet gleich lang sind.«

Aus diesem Satze folgt dann ferner in Verbindung mit No. 1:

»Die Maxima der Anziehung und Tragkraft verschiedener Systeme sind den Längen dieser Systeme proportional.«

Endlich ergibt die Verbindung von No. 1 und 2:

»Anziehung und Tragkraft beliebig langer Systeme sind gleich, wenn die kürzeren Theile, sey es Anker oder Magnet, einander gleich sind.«

In diesen Sätzen finden nun auch die Erscheinungen ihre Begründung, welche sich in dem Falle zeigen, wo mit der Verlängerung des Eisenkernes des Elektromagneten auch die Zahl der Windungen der galvanischen Spirale vergrößert wird.

Lenz und Jacobi erklären zwar für diesen Fall den Magnetismus nur von der Zahl der Windungen abhängig, allein nach den vorliegenden Untersuchungen kann diese ihre Behauptung nur in dem Falle Gültigkeit haben, wo der Anker kürzer ist als der Magnet. Denn da bei Ankern, die *länger* sind als der Magnet, die Anziehung der Länge der *Magnete*, als dem kürzeren Theile, proportional ist, wenn sie dieselbe Windungszahl haben, so muß hiernach z. B. ein doppelt so langer Magnet, der zugleich doppelte Windungszahl hat, für diesen Fall bei demselben Strome achtfache Anziehung und Tragkraft zeigen, während er nach Lenz und Jacobi nur vierfache haben müßte. Die Anziehung ist nämlich einerseits der Länge des kürzeren Theiles des Systemes und andererseits dem Quadrate der Windungszahl proportional. Nimmt man nun einen doppelt so langen Magneten, der aber die Länge des Ankers nicht überschreitet und umgiebt ihn außerdem mit doppelter Windungszahl, so muß die Anziehung wegen der doppelten Länge bei einfacher Windungszahl doppelt so groß, und diese doppelte Anziehung wegen der doppelten Windungszahl wieder vier Mal so groß seyn, d. h. die Anzie-

hung und Tragkraft sind für diesen Fall das achtfache des vorhergehenden.

Ein Versuch mit zwei verschiedenen Anker- und Magnetenpaaren genügte, um die Richtigkeit dieser Schlufsfolge zu bestätigen.

				Magnetisirende	Tragkraft.	Anziehung.
1.	Anker	6" Magnet	6"	156.0,364	1 Pfd.	0,3 Pfd
2.	"	6	" 12	312.0,364	4,1 "	1,2 "
3.	"	12	" 6	156.0,364	1,1 "	0,35 "
4.	"	12	" 12	312.0,364	7,8 "	2,5 "

Unter magnetisirender Kraft ist das Product aus Stromstärke und Windungszahl verstanden. Es durchfließt ein Strom, der die Nadel der Tangentenbussole auf 20° ablenkt, bei dem 6" langen Magneten 156 Windungen, bei dem 12" langen dagegen die doppelte Windungszahl der Spirale, die dadurch auch doppelt so lang ist. Wir sehen, daß No. 1 und 2 die Versuche von Lenz und Jacobi in den beiden ersten Nummern ihrer zweiten, vorn angeführten Tabelle darstellen. Während bei ihnen, weil sie den Inductionsstrom im Anker messen, mit der Windungszahl dividirt werden muß, muß hier, da die Tragkraft und Anziehung gemessen wird, mit dem Quadrate der Windungszahl dividirt werden um einen constanten Quotienten zu erhalten. No. 3 und 4 stellen dagegen den Versuch von Lenz und Jacobi *aber mit doppelt so langem Anker* dar. Wir finden in diesem Falle das wohl zu beachtende, mit dem vorn gefundenen Gesetz übereinstimmende Resultat, daß die Anziehung in No. 4, gemäß der vorher gemachten Schlüsse ziemlich genau die achtfache der in No. 3 ist. Die Abweichung, daß in No. 3 statt 1 Pfd. Tragkraft 1,1 Pfd. und in No. 4 7,8 Pfd. statt 8 Pfd. sich ergeben, muß sicher auf Versuchsfehler gerechnet werden, da bei der *Anziehung*, wo die Versuchsfehler geringer sind, sich genau das Achtfache herausstellt.

Wir sehen also, daß die *Anziehung und Tragkraft Functionen sowohl der Länge des Kernes als der Windungszahl sind und daß die der letzteren ganz unabhängig von der*

Längenwirkung aus dem früher entwickelten Gesetze über die Wirkung derselben hervorgeht.

Schon vorn ist der von Lenz und Jacobi angestellten Versuche Erwähnung geschehen ¹⁾, aus denen sie ebenfalls Schlüsse auf die Wirkung der Stabmagnete ziehen, obgleich jene Versuche mit Hufeisen angestellt sind, worauf schon Niklès ²⁾ aufmerksam macht. Die Vertheilung des Magnetismus in einem Hufeisen nach Auflegen des Ankers ist aber eine einfachere als in einem Stabe und es läßt sich daraus schliessen, daß sich bei Hufeisen in Bezug auf die Wirkung ihrer Länge auch einfachere Gesetze als bei den Stäben zeigen werden. Die Hufeisen ergeben gleiche Anziehung und Tragkraft sowohl bei verschiedener Länge ihrer Schenkel als auch bei verschiedener Entfernung derselben von einander. Da in den von mir untersuchten Fällen der Anker stets geringere Länge hatte als das Hufeisen, so entspricht der erste der genannten Fälle, daß nämlich die Anziehung bei verschiedener Schenkellänge dieselbe ist, dem an Stäben geltenden Gesetze, wonach die Anziehung dieselbe bleibt bei Gleichheit des kürzeren Theiles des magnetischen Systems. Daß nun aber die Entfernung der Schenkel ebenfalls ohne Einfluß auf die Anziehung ist, wo doch der kürzere Theil hinsichts der Länge variirt, beweist, daß die Anker bei Hufeisen nicht den Einfluß üben wie bei Stäben, da denen analog mit der Länge des kürzeren Theiles die Anziehung wachsen mußte.

Die von mir in Bezug auf die Entfernung der Schenkel der Hufeisen angestellten Versuche, welche Gleichheit der Anziehung ergeben hatten, waren innerhalb der Grenzen unternommen, in denen die Hufeisen gewöhnlich zur Anwendung kommen. Später hat Niklès die Untersuchung weiter ausgedehnt ³⁾, indem er einmal die Kerne

1) Diese Annalen Bd. 61, S. 265.

2) Institut 8. December 1852, S. 397.

3) *Compt. rend. XXXIX* p. 635 und Fortschritte d. Phys. d. berl. phys. Gesellschaft, wo es in der 12. Reihe von oben »Anziehung« statt *Stromstärke* heißen muß.

möglichst nahe zusammen brachte und das andere Mal sie ungewöhnlich weit von einander entfernte. In diesen beiden extremen Fällen findet er eine Abnahme der Anziehung, während er innerhalb der von mir gehaltenen Gränzen und auch in noch weiterer Ausdehnung ebenfalls Gleichheit beobachtet. Hier nimmt also sogar die Anziehung mit der gröfseren Länge des Ankers ab; allein es kann wohl Niemandem einfallen, diese Erscheinung als einen Gegensatz gegen die bei Stäben anzusehen. Die hier auftretende Aenderung ist nur ein Fall mehr zu der grofsen Zahl derer auf dem ganzen Gebiete der Physik, in denen die Erscheinungen nur innerhalb gewisser Gränzen einem Gesetze folgen. Es ist nicht unwahrscheinlich, dafs diese von Niklès beobachtete Verringerung der Wirkung in extremen Fällen sich auch bei einer im Vergleich zu ihrem Anker ins Extrem gesteigerten Länge der *Stabmagnete* zeigt. Die hier in einer geraden Linie sich darstellende Abnahme der Anziehung, bei Theilung eines Systemes nach den Enden hin, würde dann eigentlich eine Curve bilden, die in den zur Anwendung kommenden Fällen der geraden Linie so nahe liegt, dafs die Abweichungen von derselben noch durch die Versuchsfehler verdeckt werden. Diese Erscheinung, welche sich vielleicht schon in der Reihe No. VI zeigt, wäre dann eine Analogie zu der Beobachtung von Niklès, so wie auch zu der bei der Wirkung der Stromstärke und der Windungszahl auftretenden Sättigung der Magnetisirung des Eisenkerns, welche ebenfalls um so merklicher wird, je stärker die Magnetisirung überhaupt ist, wogegen sie bei geringen Graden derselben noch nicht hervortritt.

Während nun in der vorliegenden Untersuchung das Gesetz festgestellt ist, nach welchem Magnetismus, Anziehung und Tragkraft mit der Länge der Stabmagnete wachsen, wenn diese ihrer ganzen Länge nach mit der Spirale bedeckt sind, haben die Versuche in Bezug auf den Fall, wo die Spirale den Kern *nicht* seiner ganzen Länge nach bedeckt, nur gezeigt, dafs der Magnetismus mit der Länge

der Kerne zunimmt. Es bleibt dagegen einer folgenden Untersuchung überlassen die Function zu bestimmen, nach der der freie Magnetismus, die Anziehung und Tragkraft bei wachsender Länge des Kernes zunehmen.

Berlin den 1. August 1857.

III. *Ueber Biegung prismatischer Stäbe; von R. Hoppe.*

Auf den bekannten Erfahrungssatz, nach welchem die zur Dehnung oder Zusammendrückung eines elastischen festen Körpers nach *einer* Dimension hin erforderliche Kraft den Volumincrementen proportional ist, läßt sich die Berechnung der Biegung eines prismatischen Stabes nur unter der Annahme gründen, daß sein Querschnitt weder in seinen Dimensionen, noch in seiner normalen Stellung zu allen Längenfaseru eine Aenderung erleide. Die Bestimmung jeder ungleichmäßigen Dehnung oder Compression nach *mehr* als einer Dimension, welche durch jene Annahme umgangen wird, erfordert die Zuziehung neuer empirischer Grundlagen oder Hypothesen; denn das unveränderte Volum selbst der kleinsten Theile begründet noch nicht das Gleichgewicht der darin befindlichen Spannungen.

Sollte vielleicht bei so beschränkenden Voraussetzungen die Wiederaufnahme eines so vielfach bearbeiteten Problems, in welchem man mit der Berücksichtigung der verschiedenen Einflüsse bereits viel weiter gegangen ist, als es hier geschehen kann, überflüssig und interesselos erscheinen, so möchte ich an Folgendes erinnern. Allerdings hat Poncelet jeden erdenklichen Umstand mit in die Berechnung gezogen, der die Gesetze der Biegung irgend zu modificiren fähig ist. Allein er sowohl wie die meisten

übrigen Bearbeiter gehen gradenwegs auf summarische Resultate für die practische Mechanik aus, ohne die theoretisch wichtigen Fragen zu berühren. Andere wie Heym verfahren in theoretischer Beziehung zwar gründlicher; doch spaltet sich bei ihnen das Problem in die Berechnung vieler Fälle, indem sogleich von einzelnen bestimmten Umständen ausgegangen wird, unter denen die Biegung stattfindet. Es scheint mir neben jenen Behandlungsweisen nicht nutzlos, das Problem in seiner Totalität, alle Fragen und das Verhältniß der verschiedenen Fälle in sich schließend, zu betrachten, wie dessen Lösung im Princip der virtuellen Geschwindigkeiten, auf Elementargesetze zurückgeführt, bereits vorliegt. Zur Durchführung wird hier nur zweierlei erfordert: erstens Ausdruck der Spannungen in linearen Dehnungen; zweitens Integration der aus dem Princip hervorgehenden Gleichungen. Ersterer kann, unabhängig von der unbekannten Anordnung der Atome, nur bei einfacher Längendehnung gegeben werden; letztere ist allgemein ausführbar, sobald nur in einzelnen Punkten des Stabes Kräfte wirken.

Ungeachtet der hierdurch motivirten, oben angedeuteten Voraussetzung behält das hier gewählte Verfahren im Anschließen an die Wirklichkeit einen wichtigen Vorzug vor demjenigen, welches unmittelbar von einem Widerstande gegen Biegung ausgeht, nämlich die Mitberechnung der Verkürzung oder Verlängerung des Stabes, durch deren Einfluß die Gesetze der Biegung in manchen Fällen gänzlich umgeändert werden.

Auch eine doppelte Krümmung ist dabei noch zulässig; doch werde ich mich zu größerer Deutlichkeit fürs erste auf ebene Biegung beschränken. Es sey demnach angenommen, daß sich alle Querschnitte um parallele Axen drehen. Die Dimension des Stabes in der Richtung dieser Axen heiße seine Breite, die auf ihr und auf der Längensrichtung senkrechte seine Dicke.

Sind nun σ , τ , ω die Coordinaten eines Elementes des Stabes im indifferenten Zustande nach den Richtungen der

Länge, Dicke, Breite, der Schwerpunkt der einen Endfläche Anfangspunkt, und geht das Element $\partial\sigma$ durch die Biegung in ∂s_1 , für $\tau=0$ in ∂s über; bezeichnet überdies q die Spannung von ∂s_1 , α die elastische Kraft des Stoffes ρ den Krümmungsradius von ∂s , so ist:

$$\partial s_1 = \partial s \left(1 + \frac{\tau}{\rho}\right) = \partial s \left(1 + \frac{q}{\alpha}\right)$$

woraus

$$q = \alpha \left(\frac{\partial s}{\partial \sigma} - 1 + \frac{\partial s}{\partial \sigma} \frac{\tau}{\rho} \right)$$

$$\delta \partial s_1 = \delta \partial s + \tau \delta \frac{\partial s}{\rho}.$$

In der Ebene der $\sigma\tau$ sey ein im Raume festes, sonst beliebig gelegenes System der xy angenommen, und es mögen XY die Composanten der in einzelnen Punkten xy auf die gebogene σ -Axe wirkenden Kräfte nach den Richtungen der x und y bezeichnen. Dann ist nach dem Princip der virtuellen Geschwindigkeiten die Bedingung des Gleichgewichtes der Spannungen und äusseren Kräfte:

$$Q = \iiint q \partial \tau \partial \omega \delta \partial s_1 = \Sigma (X \delta x + Y \delta y).$$

Führt man obige Werthe ein, setzt den Querschnitt

$$\iint \partial \tau \partial \omega = f$$

sein Trägheitsmoment in Bezug auf die ω -Axe

$$\iint \tau^2 \partial \tau \partial \omega = b f$$

und beachtet, dass das statische Moment

$$\iint \tau \partial \tau \partial \omega = 0$$

ist, so erhält man

$$(1) \quad \frac{Q}{f\alpha} = \int \left\{ \left(\frac{\partial s}{\partial \sigma} - 1 \right) \delta \partial s + \frac{b}{\rho} \frac{\partial s}{\partial \sigma} \delta \left(\frac{\partial s}{\rho} \right) \right\}.$$

Bringt man mittelst einiger theilweisen Integrationen diesen Ausdruck auf die Form:

$$\frac{Q}{f\alpha} = \int U \delta x \partial s + \int V \delta y \partial s + \Sigma (A - A_0),$$

wo Δ und Δ_0 aus dem integrierten Theile durch Einsetzung der oberen und unteren Gränze der s hervorgehen, so findet man die Werthe:

$$\begin{aligned} U &= \frac{\partial}{\partial s} \left\{ \left(1 - \frac{1}{\sigma'}\right) x' + b y' \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{1}{\rho \sigma'}\right) \right\} \\ V &= \frac{\partial}{\partial s} \left\{ \left(1 - \frac{1}{\sigma'}\right) y' - b x' \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{1}{\rho \sigma'}\right) \right\} \\ \Delta &= - \left(1 - \frac{1}{\sigma'}\right) (x' \delta x + y' \delta y) - b (y' \delta x - x' \delta y) \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{1}{\rho \sigma'}\right) \\ &\quad + b \frac{x'' \delta x' + y'' \delta y'}{\sigma'}, \end{aligned}$$

wo die Accente Differentialquotienten nach s bezeichnen. Da die verschiedenen Punkten zugehörigen Variationen von einander unabhängig sind, so ist:

$$U=0; V=0; \Sigma(\Delta - \Delta_0) = \frac{1}{f_\alpha} \Sigma(X \delta x + Y \delta y) \quad (2.).$$

Die ersten zwei Gleichungen geben integrirt:

$$\left. \begin{aligned} \left(1 - \frac{1}{\sigma'}\right) x' + b y' \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{1}{\rho \sigma'}\right) &= \lambda \\ \left(1 - \frac{1}{\sigma'}\right) y' - b x' \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{1}{\rho \sigma'}\right) &= \mu \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

und der Ausdruck von Δ reducirt sich auf

$$\Delta = -\lambda \delta x - \mu \delta y + b \frac{x'' \delta x' + y'' \delta y'}{\sigma'}.$$

Die dritte Gleichung kann nur erfüllt werden, indem man zu gleicher Zeit

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{f_\alpha} \Sigma X \delta x &= -\Sigma \lambda (\delta x - \delta x_0) \\ \frac{1}{f_\alpha} \Sigma Y \delta y &= -\Sigma \mu (\delta y - \delta y_0) \\ \Sigma \left(\frac{x'' \delta x' + y'' \delta y'}{\sigma'} - \frac{x_0'' \delta x_0' + y_0'' \delta y_0'}{\sigma_0'} \right) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

setzt. Im Allgemeinen werden die Constanten λ , μ ihre Werthe nur von einem Angriffspunkte bis zum nächstfolgenden behalten. Bezeichnet man ihre verschiedenen Werthe, so wie die der gegebenen Kräfte der Reihe nach durch

die Indices 0, 1, 2, ... n, so ergibt die Gleichsetzung der Coëfficienten identischer Variationen:

$$\begin{array}{ll} X_0 = \lambda_1 f\alpha & Y_0 = \mu_1 f\alpha \\ X_1 = (\lambda_2 - \lambda_1) f\alpha & Y_1 = (\mu_2 - \mu_1) f\alpha \\ X_2 = (\lambda_3 - \lambda_2) f\alpha & Y_2 = (\mu_3 - \mu_2) f\alpha \\ \vdots & \vdots \\ X_n = -\lambda_n f\alpha & Y_n = -\mu_n f\alpha \end{array}$$

Hieraus findet man die Werthe der λ , μ , und behält noch die Relationen:

$$\Sigma X = 0; \Sigma Y = 0 \quad (4)$$

Die dritte Gleichung erfordert, daß $\frac{x''}{\sigma'}$ und $\frac{y''}{\sigma'}$, mithin auch $\frac{1}{\sigma'}$, zu beiden Seiten jedes Angriffspunktes gleiche Werthe haben, und für die zwei äußersten Angriffspunkte $= 0$ sind; vorausgesetzt daß der Stab frei der Einwirkung der Kräfte ausgesetzt ist. Sind irgend welche Punkte der Axe fest, so kann man in jedem derselben eine dem Drucke, welchen der Punkt erleidet, gleiche und entgegengesetzte Kraft wirkend denken; demnach hat man die drei Gleichungen (3) auch auf alle festen Punkte in Anwendung zu bringen; nur sind alsdann statt der Componenten die Coordinaten gegeben. Ist endlich in irgend welchen festen Punkten zugleich der Querschnitt fest, sind mithin x' und y' als unveränderlich gegeben, so wird die dritte Gleichung (3) in Bezug auf einen solchen Punkt durch das Verschwinden von $\delta x'$, $\delta y'$ erfüllt, und die Krümmung hat keine Bedingung zu erfüllen.

Durch Elimination zwischen den Gleichungen (2) erhält man:

$$1 - \frac{1}{\sigma'} = \lambda x' + \mu y' \quad (5)$$

$$b \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{1}{\sigma'} \right) = \lambda y' - \mu x'$$

und durch Integration der letzteren Gleichung

$$\frac{b}{\sigma'} = \lambda y - \mu x + v \quad (6)$$

Dieses Integral über den ganzen Stab ausgedehnt, ergibt, im Fall dieser frei, also $\frac{1}{\rho}$ an beiden Enden $= 0$ ist,

$$\Sigma(Xy - Yx) = 0,$$

woraus in Verbindung mit den Gleichungen (4) hervorgeht, daß das gegebene Kräftesystem für sich im Gleichgewicht seyn muß. Ferner ist:

$$\frac{\lambda y' - \mu x'}{\rho} = (\lambda y' - \mu x') \frac{x''}{y'} = \lambda x'' + \mu y''.$$

Eliminirt man ρ und σ' zwischen dieser Gleichung und den beiden (5) und (6), so kommt

$$b(1 - \lambda x' - \mu y')(\lambda x'' + \mu y'') = (\lambda y - \mu x + v)(\lambda y' - \mu x').$$

Dieses integrirt giebt:

$$b(1 - \lambda x' - \mu y')^2 + (\lambda y - \mu x + v)^2 = a.$$

Nach Ausführung der drei noch übrigen Integrationen sind die Coordinaten und ihre Differentialquotienten bekannte Functionen von σ und den 7 Integrationsconstanten. Verfolgt man die Intervalle zwischen den Angriffspunkten von einem Ende des Stabes zum andern, so bestimmen sich im ersten Intervalle vier Constanten durch die Wahl des Anfangs der x , y , ρ , σ , eine durch die Anfangsrichtung und λ und μ durch die am Endpunkt wirkende Kraft. Die Länge des Intervalls ist gegeben, daher die Endwerthe der Variablen bekannt. Aus ihnen findet man die Werthe der Constanten für das nächste Intervall mittelst der einzelnen Integralgleichungen, in denen jene Constanten der Reihe nach auftreten.

Man kann sich demnach den Stab in mehrere Stücke zerlegt denken, auf deren jedes zwei gleiche und entgegengesetzte Kräfte in den Endpunkten wirken; das Problem ist alsdann für den ganzen Stab gelöst, wenn die Biegung eines solchen isolirten Stückes bestimmt ist, oder mit anderen Worten, es ist auf den Fall zurückgeführt, wo nur zwei Kräfte in den Endpunkten wirken. Ehe ich jedoch zu diesem übergehe, muß ich die bisherige Betrachtung noch in einem Stück ergänzen.

Es ist nämlich bisher angenommen, daß alle Kräfte unmittelbar auf Punkte der Axe wirken. Auf diesen Fall ist die Anwendbarkeit der entwickelten Gleichungen nicht eingeschränkt. Liegen irgend welche Angriffspunkte außerhalb der Axe, nur in derselben Ebene und in fester Verbindung mit bestimmten Querschnitten, so erleidet überhaupt nichts als die dritte Gleichung (3) eine Aenderung. Fürs erste kann man eine solche Kraft ersetzen durch eine von gleicher Intensität und Richtung, die im Schwerpunkte des genannten Querschnittes wirkt, und durch ein Kräftepaar, dessen Moment das Product des Abstandes des Schwerpunktes von der Richtungslinie und der Intensität ist. Erstere hat ihre Stelle in den Gleichungen. Das Kräftepaar bringe man in eine solche Lage, daß die eine Seitenkraft längs der Ebene des Querschnitts wirkt. Bezeichnet M das Moment, und nimmt man das unendliche kleine Axenstück ∂s zur Breite, so wird die Intensität

$$= \pm \frac{M}{\partial s}.$$

Zerlegt man beide Seitenkräfte nach den Richtungen der x und y , so wird die Summe der virtuellen Momente derselben

$$\begin{aligned} &= \frac{M}{\partial s} (-y' \delta x + x' \delta y + y' \delta(x + x' \partial s) - x' \delta(y + y' \partial s)) \\ &= M \frac{y' \delta(x' \partial s) - x' \delta(y' \partial s)}{\partial s} \\ &= M(y' \delta x' - x' \delta y'). \end{aligned}$$

Identificirt man die Coëfficienten von $\delta x'$ und $\delta y'$ in der dritten Gleichung (2_a), und bezeichnet durch $\rho_0, \sigma_0', \rho_1, \sigma_1'$ die Werthe der Variablen unmittelbar vor und nach dem Querschnitt, so erhält man übereinstimmend

$$bf\alpha \left(\frac{1}{\rho_1 \sigma_1'} - \frac{1}{\rho_0 \sigma_0'} \right) = M$$

an Stelle der dritten Gleichung (3): das ist nach Gleichung (6)

$$f\alpha((\lambda_0 - \lambda_1)y - (\mu_0 - \mu_1)x + \nu_0 - \nu_1) = M \quad (7)$$

oder

$$Yx - Xy + (v_0 - v_1)fa = M$$

wo X und Y die Componenten der in Rede stehenden Kraft bezeichnen. Demnach ist überhaupt

$$fa v = \Sigma(Yx - Xy) - \Sigma M$$

beide Summen einzeln vom Anfang des Stabes bis zum Anfang des Intervalls gerechnet, worauf sich v bezieht.

Es mögen jetzt in den Endpunkten eines freien Stabes zwei Kräfte im Gleichgewicht mit den Spannungen, mithin einander gleich und entgegengesetzt wirken. Die Richtungslinie, d. i. die Verbindungslinie der Endpunkte, sey Axe der x , überdiess mögen x , y und s denselben Anfangspunkt wie σ haben. Dann werden beide $Y = 0$, also auch μ , und nach Gleichung (6), wenn man $y = 0$ setzt, auch v . Setzt man

$$p = \lambda fa$$

so sind p und $-p$ die zwei Kräfte, welche beziehungsweise am Anfang und Ende, also im Sinne einer Längencompression wirken.

Die Gleichung der Curve ist jetzt

$$b(1 - \lambda x')^2 + \lambda^2 y^2 = a$$

und die Beziehung zum ursprünglichen Zustande ist durch die Gleichung ausgedrückt:

$$\sigma' = \frac{b}{\lambda y q} = \frac{b}{\lambda} \frac{x''}{yy'}$$

Des bequemerem Ausdrucks wegen wende man folgende Substitutionen an:

$$\lambda = \frac{\sin^2 \beta}{\cos^2 \gamma}; \quad a = b \frac{\cos^2 \beta}{\cos^2 \gamma}$$

$$y = 2\sqrt{b} \frac{\sin \gamma}{\sin^2 \beta} \sqrt{z} \sqrt{\cos^2 \beta - z \sin^2 \gamma}$$

Zur Abkürzung sey überdiess

$$N = \sqrt{z} \sqrt{1 - z} \sqrt{\cos^2 \beta - z \sin^2 \gamma} \sqrt{\sin^2 \beta - (1 - z) \sin^2 \gamma}$$

dann wird

$$x' = 1 - 2(1 - z) \frac{\sin^2 \gamma}{\sin^2 \beta}$$

$$y' = \frac{2 \sin \gamma}{\sin^2 \beta} \sqrt{1 - z} \sqrt{\sin^2 \beta - (1 - z) \sin^2 \gamma}$$

$$\sigma' = \frac{\cos 2\gamma}{\cos^2 \beta - 2z \sin^2 \gamma}$$

und nach Integration erhält man die Werthe:

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{\sqrt{b}}{2 \sin^2 \beta} \int_0^{\frac{\partial x}{N}} (\cos^2 \beta - 2z \sin^2 \gamma \sin^2 \beta - 2(1-z) \sin^2 \gamma) \frac{\partial x}{N} \\ y &= 2\sqrt{b} \frac{\sin \gamma}{\sin^2 \beta} \sqrt{z} \sqrt{\cos^2 \beta - z \sin^2 \gamma} \\ s &= \frac{1}{2} \sqrt{b} \int_0^{\frac{\partial x}{N}} (\cos^2 \beta - 2z \sin^2 \gamma) \frac{\partial x}{N} \\ \sigma &= \frac{1}{2} \sqrt{b} \cos 2\gamma \int_0^{\frac{\partial x}{N}} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Hier ist σ ein elliptisches Integral erster Gattung, x erster und zweiter, s erster und dritter. Mittelst der inversen Functionen kann man daher x , y und s explicite in σ ausdrücken, wodurch die Bedingung erfüllt ist, von der allein die Lösung des Problems für beliebig viele Kräfte noch abhing.

Der Scheitel der Curve, bestimmt durch $y' = 0$, findet sich ausgedrückt durch $z = 1$. Bezeichnet man die auf ihn bezüglichen Werthe der Variabeln durch den Index 1, so ist $2\sigma_1$ die ursprüngliche Länge des Stabes, $2s$ seine Länge nach der Biegung, $2x_1$ die Sehne und y_1 die Gröfse der Biegung oder der grösste Abstand der Curve von der Sehne.

Ist eine Endfläche des Stabes fest, während im Schwerpunkte der andern die Kraft p in gegebener Richtung wirkt, so bleiben sämtliche Gleichungen in Geltung; nur stellt die Axe des Stabes nicht mehr die ganze Curve dar, sondern nur das Stück derselben von $s = 0$ bis zu demjenigen Punkte, wo ihre Tangente mit der x -Axe denselben Winkel bildet wie die gegebene feste Tangente mit der Richtung der Kraft. Bekannt sind hier x' , y' und σ für

jenen Punkt und λ ; dagegen erfordert die Bestimmung von a die Auflösung der transcendenten Gleichung, welche x' in σ ausdrückt. Der andere Endpunkt der Curve liegt auf der Richtungslinie der Kraft, doch ist seine Entfernung gleichfalls noch unbekannt. In dem besondern Falle jedoch, wo die gegebene Kraft in der Richtung der festen Tangente wirkt, sind alle Elemente bekannt; das feste Ende der Axe ist der Scheitel, die Länge des Stabes ist $= \sigma$.

Liegt der Angriffspunkt nicht im Schwerpunkt der Endfläche, sondern außerhalb in fester Verbindung mit der Endfläche, so kann man die Axe der x nicht mehr als die Richtungslinie der Kraft definiren, dagegen bleibt sie wie vorher die Gerade:

$$\lambda y - \mu x + \nu = 0$$

und man findet sie, indem man μ und $\nu = 0$ setzt, aus der Gleichung (7), welche für das freie Ende der Stabaxe die Ordinate

$$y = \frac{M}{p}$$

ergiebt. Diese hat man senkrecht auf die Richtungslinie von jenem Ende aus abzutragen, und durch ihren Endpunkt geht dann die Axe der x , auf welcher die beiden Enden der Curve $s = 0$ und $s = 2s_1$ liegen.

Sind endlich beide Endflächen fest, so kann der Stab jedes beliebige Stück der Curve mit Einschluss ihrer Verlängerung über die Punkte $s = 0$ und $s = 2s_1$ hinaus darstellen. Wie sich die Curve ins Unendliche nach beiden Seiten hin fortsetzen lässt, ist leicht zu sehen: sie schneidet die Axe der x in Punkten, die um $2x_1$ von einander abstehen, und bildet zwischen denselben abwechselnd auf der einen und andern Seite dieser Axe immer congruente Bogen. In den Axendurchschnitten findet stets, und ausserdem nie ein Wendepunkt statt.

Das Gemeinschaftliche aller Fälle ebener Biegung bei ausschliesslicher Einwirkung auf die Endflächen ist also, dass die Axe des Stabes stets dieselbe von zwei Parame-

tern abhängige Curve bildet. Das Unterscheidende besteht nur darin, daß die Stabaxe bald das eine, bald das andere Stück dieser Curve darstellt. Wirken mehrere Kräfte in beliebigen Punkten, so entsteht eine Curve, die aus mehreren solchen Stücken zusammengesetzt ist, abweichend in den Werthen ihrer Parameter und in der Lage ihrer Axen. Zur Orientirung muß demnach in jedem Falle das erste seyn, die Lage der Axe und die Punkte der Nullkrümmung zu bestimmen, in denen sie von der Curve geschnitten wird. Der Fall, wo der Stab frei ist, und die Kräfte nur an den Enden wirken, ist in sofern der einfachste, weil jene Punkte schon bekannt sind; man kann bei der Untersuchung von keinem andern ausgehen, ohne der Einsicht in den Zusammenhang in den Weg zu treten.

Die Lösung der folgenden speciellen Aufgaben geht leicht aus den aufgestellten allgemeinen Gleichungen hervor:

1. *Die stärkste Compression zu bestimmen, welche ein Stab seiner Länge nach erleiden kann, ohne sich zu biegen.*

Aus der zweiten Gleichung (8) sieht man, daß y in der ganzen Ausdehnung des Stabes verschwindet, wenn man γ verschwinden läßt; zu gleicher Zeit nimmt

$$p = f\alpha \frac{\sin^2 \beta}{\cos 2\gamma}$$

bis auf $f\alpha \sin^2 \beta$ ab. Dieser Endwerth von p ist also das Maximum der comprimirenden Kraft, bei welcher der Stab noch gerade ist. Die übrigen Variablen werden für $\gamma = 0$:

$$x_1 = s_1 = \frac{\pi}{2} \sqrt{b \cot \beta}$$

$$\sigma_1 = \frac{\pi}{2} \frac{\sqrt{b}}{\sin \beta \cos \beta}$$

$$x : s : \sigma = x_1 : s_1 : \sigma_1.$$

Nach Elimination von β erhält man

$$\frac{p}{f\alpha} = 1 - \frac{s_1}{\sigma_1} = \frac{\pi^2}{4} \frac{b}{s_1 \sigma_1} \text{ nahezu } = \frac{\pi^2 b}{4 \sigma_1^2}.$$

Die Verkürzung $2(\sigma_1 - s_1)$ ist also unabhängig vom Material, die Kraft proportional der Elasticität desselben.

2. Die Veränderungen, welche eine unendlich kleine Biegung eines der Länge nach comprimierten Stabes begleiten, nebst der dazu erforderlichen Kraft zu bestimmen.

Eine unendlich kleine Biegung findet statt, wenn γ unendlich klein ist. Entwickelt man die Ausdrücke (8) bis zur zweiten Potenz von γ , so kommt

$$x_1 = \frac{\pi}{2} \sqrt{b \cot \beta} \left(1 - \frac{3\gamma^2}{\sin^2 2\beta} \right)$$

$$y_1 = 2\gamma \sqrt{b} \frac{\cos \beta}{\sin^2 \beta}$$

$$s_1 = \frac{\pi}{2} \sqrt{b \cot \beta} \left(1 + \gamma^2 \frac{1 - 4 \sin^2 \beta}{\sin^2 2\beta} \right)$$

$$\sigma_1 = \frac{\pi \sqrt{b}}{2 \sin \beta \cos \beta} \left(1 + \gamma^2 \frac{\cos 4\beta}{\sin^2 2\beta} \right)$$

$$p = f \alpha \sin^2 \beta (1 + 2\gamma^2).$$

Der Werth, welchen β unmittelbar vor Eintreten der Biegung hatte, sey einstweilen durch c bezeichnet; dann ist, weil σ_1 stets unverändert bleibt,

$$\sin 2\beta = \sin 2c \left(1 + \gamma^2 \frac{\cos 4c}{\sin^2 2c} \right)$$

woraus

$$\cot \beta = \cot c \left(1 - \gamma^2 \frac{2 \cot 4c}{\sin 2c} \right)$$

$$\sin^2 \beta = \sin^2 c (1 + 2\gamma^2 \cot c \cot 4c).$$

Außerdem ist

$$\gamma = \frac{y_1}{2\sqrt{b}} \frac{\sin^2 c}{\cos c} = \frac{\pi y_1}{4\sigma_1} \frac{\sin c}{\cos^2 c}.$$

Dies eingeführt giebt, wenn p_0, l die Kraft und die Länge des Stabes unmittelbar vor Eintreten der Biegung bezeichnet,

$$2x_1 = l \left(1 - \frac{\pi^2}{32} \frac{y_1^2}{\sigma_1^2} \frac{2 - 7 \sin^2 c + 4 \sin^4 c}{\cos^6 c \cos 2c} \right)$$

$$2s_1 = l \left(1 + \frac{\pi^2}{32} \frac{y_1^2}{\sigma_1^2} \frac{\sin^2 c}{\cos^6 c \cos 2c} \right)$$

$$p = p_0 \left(1 + \frac{\pi^2}{32} \frac{y_1^2}{\sigma_1^2} \frac{1 - 4 \sin^2 c}{\cos^4 c \cos 2c} \right).$$

Demzufolge fährt die Sehne, welche sich schon von $2\sigma_1$ bis l verkürzt hat, beim Eintreten der Biegung fort kürzer zu werden; die Längenaxe des Stabes hingegen fängt von da an sich wieder auszudehnen, und l ist überhaupt das Minimum der Länge, bis auf welches der Stab zusammengedrückt werden kann, wenn er nach den Seiten zu frei ist. Die Kraft muß mit der Biegung ferner zunehmen; der Fall $1 - 4\sin^2 c < 0$ nämlich, wo das Gegenheil stattfinden würde, tritt erst ein für

$$b > \frac{3\sigma_1^2}{4\pi^2}$$

das ist bei rechteckigem Querschnitt, für eine Dicke $> \frac{3}{\pi} \sigma_1$, wo die Hauptwirkung der Compression nicht in Biegung, sondern in Erweiterung des Querschnitts besteht.

Vernachlässigt man im Coëfficienten von y_1^2 den geringen Unterschied zwischen der anfänglichen und comprimierten Länge, so erhält man

$$2x_1 = l \left(1 - \frac{\pi^2}{16} \frac{y_1^2}{\sigma_1^2} \right)$$

$$2s_1 = l \left(1 + \frac{\pi^4}{128} \frac{b y_1^2}{\sigma_1^4} \right)$$

$$p = p_0 \left(1 + \frac{\pi^2}{32} \frac{y_1^2}{\sigma_1^2} \right).$$

Liegen die zwei Angriffspunkte nicht im Schwerpunkte der Endflächen, sondern in einem Abstände $= r$ von demselben, so behalten die Formeln ihre Geltung, nur mit veränderter Bedeutung der Buchstaben. Bezeichnet man durch den Index 0 die auf die Endflächen bezüglichen Größen, so ist prx'_0 das Moment des Kräftepaares, daher

$$y_0 = rx'_0,$$

woraus sich z_0 , x_0 , s_0 , σ_0 ergeben. Die Sehne ist jetzt $2(x_1 - x_0)$, die Axenlänge $2(s_1 - s_0)$ und anfänglich $2(\sigma_1 - \sigma_0)$. Der vorige Werth von p steht in keiner unmittelbaren Beziehung zu der wirkenden Kraft.

Da y_0 hier stets > 0 , und $y_1 > y_0$ ist, so findet bei der geringsten Compression schon eine entsprechende Bie-

gung statt. Der Werth von p muß daher, im Augenblick wo $r=0$ wird, eine plötzliche Zunahme erhalten, während gleichzeitig σ_1 etc. plötzlich um ein Stück kleiner werden.

3. Für den Fall, wo eine Endfläche fest ist, und im Schwerpunkte der anderen eine Kraft in gegebener Richtung wirkt, die begleitenden Umstände einer unendlich kleinen Biegung zu bestimmen.

Vorausgesetzt daß der Winkel φ , den die Richtung der Kraft mit der festen Tangente bildet, nicht $=0$ ist, (in welchem Falle die Aufgabe mit der vorigen identisch wäre) ist auch die Biegung der vervollständigten Curve nicht unendlich klein; dagegen muß die Länge des Stabes ein unendlich kleines Stück von $2s_1$ seyn. Beziehen sich die Bezeichnungen der Variabeln auf den Endpunkt der Stabaxe, so ist demnach auch z unendlich klein, so daß es hinreicht, die Ausdrücke nach Potenzen von z auf zwei Gliedern zu entwickeln. Ueberdies seyen ψ und ϑ die Winkel, welche die Richtung der Kraft mit der Tangente im freien Ende und mit der Sehne bildet. Dann ist

$$\cos \psi = 1 - \frac{2 \sin^2 \gamma}{\sin^2 \beta}$$

$$\sin \gamma = \sin \beta \sin \frac{\psi}{2}$$

$$x = \sqrt{bz} \cot \beta \frac{\cos \psi}{\cos \frac{\psi}{2}} \left\{ 1 + \frac{1}{6} z \left(\frac{1}{\cos \psi \cos^2 \frac{\psi}{2}} - 3 \operatorname{tg}^2 \beta \sin^2 \frac{\psi}{2} \right) \right\}$$

$$y = 2 \sqrt{bz} \cot \beta \sin \frac{\psi}{2} \left\{ 1 - \frac{1}{2} z \operatorname{tg}^2 \beta \sin^2 \frac{\psi}{2} \right\}$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{bz} \cos 2\gamma}{\sin \beta \cos \beta \cos \frac{\psi}{2}} \left\{ 1 + \frac{1}{6} z \left(1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\psi}{2} + \operatorname{tg}^2 \beta \sin^2 \frac{\psi}{2} \right) \right\}$$

$$s = \frac{\sqrt{bz} \cot \beta}{\cos \frac{\psi}{2}} \left\{ 1 + \frac{1}{6} z \left(1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\psi}{2} - 3 \operatorname{tg}^2 \beta \sin^2 \frac{\psi}{2} \right) \right\}$$

$$x' = \cos \psi + 2 z \sin^2 \frac{\psi}{2}$$

$$y' = \sin \psi \left(1 - \frac{1}{2} z \frac{\cos \psi}{\cos^2 \frac{\psi}{2}} \right)$$

woraus hervorgeht

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{y'}{x'} = \operatorname{tg} \psi \left(1 - \frac{z}{2 \cos \psi \cos^2 \frac{\psi}{2}} \right)$$

$$\operatorname{tg} \vartheta = \frac{y}{x} = \operatorname{tg} \psi \left(1 - \frac{z}{6 \cos \psi \cos^2 \frac{\psi}{2}} \right)$$

$$\operatorname{tg}(\psi - \vartheta) = \frac{1}{3} z \operatorname{tg} \frac{\psi}{2}$$

$$\operatorname{tg}(\vartheta - \varphi) = \frac{2}{3} z \operatorname{tg} \frac{\psi}{2}.$$

Die Tangente am festen Ende bildet also mit der Sehne einen doppelt so großen Winkel als die Tangente am freien Ende.

Ist r die Sehne, so ergibt sich ferner

$$r = \sqrt{bz} \frac{\cos \beta}{\cos \frac{\psi}{2}}$$

daher ist die Größe der Biegung oder der Abstand des freien Endes von der festen Tangente

$$B = r \sin(\vartheta - \varphi) = \frac{2}{3} \sqrt{bz} \frac{1}{2} \cot \beta \frac{\sin \frac{\psi}{2}}{\cos^2 \frac{\psi}{2}}$$

Der Ausdruck von σ zeigt, daß β unendlich klein ist. Eliminirt man β und z zwischen der letzten Gleichung und den beiden

$$p = f\alpha \frac{\sin^2 \beta}{\cos 2\gamma}; \quad \sigma = \frac{\sqrt{bz} \cos 2\gamma}{\sin \beta \cos \beta \cos \frac{\psi}{2}}$$

so erhält man

$$B = \frac{\sigma^3 p \sin \varphi}{3bf\alpha}$$

mit Weglassung unendlich kleiner Größen höherer Ordnungen.

Die Verkürzung des Stabes, welche mit der Biegung zugleich eintritt, ist

$$\sigma - s = \sqrt{bz} \operatorname{tg} \beta \frac{\cos \psi}{\cos \frac{\psi}{2}} = \frac{\sigma p \cos \varphi}{f\alpha} = \frac{3Bb}{\sigma^2} \cot \varphi.$$

4. Die Bedingungen des Zerbrechens.

Die Biegung hat ein Zerbrechen des Stabes zur Folge, wenn die größte darin vorkommende Spannung eine gewisse Gränze übersteigt, welche das Material vertragen kann. Im Allgemeinen war die Spannung

$$q = \alpha \left(\frac{1}{\sigma'} - 1 + \frac{\tau}{\rho \sigma'} \right)$$

das ist den gefundenen Werthen zufolge

$$q = \frac{p}{f} \left(\frac{\tau y}{b} - x' \right).$$

Dies ist, nachdem man für τ bereits den größten Werth genommen hat, ein Maximum für

$$\frac{\tau y'}{b} - x'' = 0$$

Die zwei Auflösungen dieser Gleichungen sind

$$\frac{x''}{y'} = \frac{1}{\rho} = \frac{\tau}{b}; \quad y' = x'' = 0.$$

Die letztere entspricht nur dann einem Maximum, wenn ρ , vom Ende bis zum Scheitel abnehmend, den Werth $\frac{b}{\tau}$ nicht erreicht; im andern Fall einem Minimum. Dieser Werth ist jedoch stets so klein, daß wir den erstern Fall als einen in Wirklichkeit nie eintretenden bei Seite lassen können. Demnach ist die Spannung stets am größten im äußersten Punkte des durch den Scheitel gehenden Querschnitts. Ist q die größte Spannung, welche das Material verträgt, p die von beiden Seiten den Stab der Länge nach comprimirende Kraft, welche diese Spannung hervorbringt, so hat man

$$q = \frac{p}{f} \left(\frac{\tau y_1}{b} - 1 \right).$$

Die Spannung wird hier als positiv oder negativ gedacht, je nachdem sie durch Dehnung oder Compression bewirkt wird; nur die erstere kann zu einem Zerbrechen führen. Der Formel zufolge muß y_1 erst eine gewisse vom Querschnitt allein abhängige GröÙe erreichen, ehe die Span-

nung überhaupt positiv wird, z. B. beim rechteckigen Querschnitt $\frac{1}{6}$ der Dicke.

Ist eine Endfläche fest, so ist zu unterscheiden, ob der Scheitel zwischen beiden Endflächen oder jenseit der festen fällt. Im ersten Falle, d. i. wenn die Richtungslinie der Kraft mit der festen Tangente convergirt, oder ihr parallel ist, bleibt die aufgestellte Bedingungsgleichung in Geltung. Im letzteren, wenn nämlich jene divergirt, ist offenbar die größte Spannung im äußersten Punkte des festen Querschnitts. Man hat alsdann die allgemeinere Formel

$$q = \frac{p}{f} \left(\frac{xy}{b} - x' \right)$$

in Anwendung zu bringen.

Zum Schluß will ich noch die Gleichung der doppelt gekrümmten Curve entwickeln, in welcher sich ein Stab unter der Einwirkung beliebig gerichteter Kräfte biegt, wenn die zu Anfang ausgesprochenen Annahmen erfüllt sind. Der Werth von Q in Gleichung (1) ist auch hier noch gültig. Führt man ein rechtwinkliges System der xyz ein, so kann man wie vorher die Gleichung auf die Form bringen

$$\int U \delta x \delta s + \int V \delta y \delta s + \int W \delta z \delta s \\ + \Sigma (\Delta - \Delta_0) = \frac{1}{f_\alpha} \Sigma (X \delta x + Y \delta y + Z \delta z).$$

Die Gleichungen $U=0$, $V=0$, $W=0$ geben integrirt

$$x' \left(1 - \frac{1}{\sigma'} - bu \right) + b \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{x''}{\sigma'} \right) = \lambda \\ y' \left(1 - \frac{1}{\sigma'} - bu \right) + b \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{y''}{\sigma'} \right) = \mu \\ z' \left(1 - \frac{1}{\sigma'} - bu \right) + b \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{z''}{\sigma'} \right) = \nu$$

wo der Kürze wegen gesetzt ist

$$u = x' \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{x''}{\sigma'} \right) + y' \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{y''}{\sigma'} \right) + z' \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{z''}{\sigma'} \right).$$

Verbindet man sie, wie folgt

$$\begin{aligned}
b \left[y' \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{x''}{\sigma'} \right) - z' \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{y''}{\sigma'} \right) \right] &= \nu y' - \mu z' \\
b \left[z' \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{x''}{\sigma'} \right) - x' \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{z''}{\sigma'} \right) \right] &= \lambda z' - \nu x' \\
b \left[x' \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{y''}{\sigma'} \right) - y' \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{x''}{\sigma'} \right) \right] &= \mu x' - \lambda y' \\
1 - \frac{1}{\sigma'} &= \lambda x' + \mu y' + \nu z' = w' \quad (9)
\end{aligned}$$

so kann man aufs neue integrieren, und erhält

$$\begin{aligned}
b \frac{y' z'' - z' y''}{\sigma'} &= \nu y - \mu z + A = v_1 \\
b \frac{z' x'' - x' z''}{\sigma'} &= \lambda z - \nu x + B = v_2 \\
b \frac{x' y'' - y' x''}{\sigma'} &= \mu x - \lambda y + C = v_3
\end{aligned}$$

woraus sich zusammensetzen läßt

$$v_1 v'_1 + v_2 v'_2 + v_3 v'_3 = b \frac{\lambda x'' + \mu y'' + \nu z''}{\sigma'} = b(1 - w')w''$$

Dies integriert giebt

$$v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + b(1 - w')^2 = a. \quad (10)$$

Aus den vorigen drei Gleichungen folgt noch

$$v_1 x' + v_2 y' + v_3 z' = 0 \quad (11)$$

$$v_1 x + v_2 y + v_3 z = A x + B y + C z$$

$$v_1 \lambda + v_2 \mu + v_3 \nu = A \lambda + B \mu + C \nu$$

Setzt man

$$\begin{aligned}
\lambda^2 + \mu^2 + \nu^2 &= p^2; \quad \mu^2 + \nu^2 = p_1^2 \\
A \lambda + B \mu + C \nu &= h
\end{aligned}$$

und verlegt das Coordinatensystem der Art, daß x, y, z der Reihe nach in

$$\begin{aligned}
\frac{\lambda x}{p} + \frac{p_1}{p} \\
\frac{\mu x}{p} + \frac{\lambda \mu y}{p p_1} + \frac{\nu z}{p_1} - \frac{\nu h}{\lambda p^2} + \frac{C}{\lambda} \\
\frac{\nu x}{p} - \frac{\lambda \nu y}{p p_1} - \frac{\mu z}{p_1} + \frac{\mu h}{\lambda^2} - \frac{B}{\lambda}
\end{aligned}$$

übergehen, so gehen die Gleichungen (10) (11) (9) über in folgende:

$$p^2(y^2 + z^2) + b(1 - px')^2 = a$$

$$p^2(yz' - zy') = hx'$$

$$1 - \frac{1}{\sigma'} = px'$$

und, wenn man $y = r \cos \vartheta$, $z = r \sin \vartheta$ setzt,

$$p^2 r^2 + b(1 - px')^2 = a$$

$$p^2 r^2 \vartheta' = hx'$$

$$\frac{1}{\sigma'} = 1 - px'$$

wozu noch die identische Gleichung

$$x'^2 + r'^2 + r^2 \vartheta'^2 = 1$$

kommt. Eliminirt man x' und ϑ' , und setzt

$$n = \sqrt{\frac{a - p^2 r^2}{b}}$$

$$N = \sqrt{p^4(a - bn^2) - (h^2 + ap^2 - bp^2 n^2)(1 - n)^2}$$

so erhält man

$$s = \frac{p}{b} \int \frac{n \partial n}{N}$$

$$x = \frac{1}{b} \int \frac{n(1 - n) \partial n}{N}$$

$$\vartheta = \frac{h}{b} \int \frac{n(1 - n) \partial n}{(a - bn^2)N}$$

$$\sigma = \frac{p}{b} \int \frac{\partial n}{N}$$

$$r = \frac{1}{p} \sqrt{a - bn^2}$$

Hiermit sind die Gleichungen der Curve und die Beziehung zum anfänglichen Zustand des Stabes ausgedrückt. Die Relationen der Kräfte sind dieselben wie bei ebener Biegung, da die Componenten nur einzeln in denselben auftreten. Die Torsion der Curve erhält man sehr leicht, indem man die zwei Systeme dreier Gleichungen beziehungsweise multiplicirt und die Summe nimmt; sie ist

$$= \frac{h \varrho}{b^2} \sigma'^2$$

Für $h = 0$ wird also die Curve eben.

IV. *Ueber den aufsteigenden Luftstrom, die Entstehung des Hagels und der Wirbel-Stürme;*
von F. Vettin.

Den Vorgang beim Aufsteigen der Luft über einem erwärmten Boden kann man sich durch folgenden Versuch leicht veranschaulichen; man bringt unter eine geräumige Glasglocke Tabacksrauch und erhitzt, wenn derselbe sich ruhig über der Bodenplatte gelagert, eine Stelle der letzteren ein wenig mittelst einer Weingeistlampe. Als bald erhebt sich die Luft in Form einer Garbe mit oben umgebogenen und in sich zurücklaufenden Rändern, etwa so wie Fig. 1, Taf. III zeigt.

Bewirkt man in einem Glaskasten von der früher ¹⁾ angegebenen Gröfse, in welchem die Luft nach der Richtung der Pfeile (Fig. 2, Taf. III) in Circulation versetzt worden, einen localen aufsteigenden Luftstrom dadurch, daß man eine Stelle der Bodenplatte etwa bei *c* (Fig. 2, Taf. III) etwas erwärmt, so wird die nun entstehende oben beschriebene Garbe durch den unteren Strom nach der Seite hin abgelenkt; die rotirende Bewegung des Randes combinirt sich mit der nach einer Richtung hin stattfindenden Bewegung des unteren Stromes; der Rand erweitert sich bei *b* und verkleinert sich bei *a*. Der obere Theil des Randes *b* bewegt sich schneller, der untere Theil, welcher der unteren Strömung entgegen gerichtet ist, langsamer oder er kommt gar nicht zu Stande.

Im Augenblicke, wo der bei *c* aufsteigende Luftstrom die Gränzregion beider über einander fließenden Luftmeere durchbricht (Fig. 3; Taf. III), erweitert sich der rotirende Rand bei *a*, indem sein oberer Theil mit dem oberen, sein unterer mit dem unteren Strome sich fortbewegt; dagegen zieht sich der Rand bei *b* zusammen, da die Richtung seines oberen Theiles der oberen Strömung entgegengesetzt

1) Pogg. Ann. Bd. 100, S. 99.

ist; aus der letzteren sinkt Luft bei *b* herab, um Theil zu nehmen an der Rotation.

Betrachtet man den rund um *c* (Fig. 3, Taf. III) auf der Bodenplatte befindlichen Rauch während des Versuches, so bemerkt man, daß derselbe über *e* nach *c* zu schnell fortgesetzt wird, über *d* dagegen ruhiger in seiner Lage verbleibt; es folgt dies einfach daraus, daß die von *d* nach *c* strömende Luft dem unteren Strome der großen Circulation entgegen, die von *e* nach *c* strömende derselben gleich gerichtet ist, daß jene daher mit dem Unterschiede, diese dagegen mit der Summe der Geschwindigkeiten sich bewegt.

Bewirkt man ein noch schnelleres Aufsteigen der Luft, so bewegt sich dieselbe über *d* (Fig. 4, Taf. III) nach *c* zu. Die Luft des oberen Stromes sinkt bei *b* (Fig. 4) heftig herab; es bildet sich eine rückläufige Circulation über *g* und *c*.

Die Rotationen des Randes bei *b* bleiben bei diesem letzteren Versuch häufig längere Zeit bestehen, besonders dann, wenn vor Beginn desselben ein Stückchen Holz (gleichsam ein Gebirge) bei *c* (Fig. 5, Taf. III) quer auf die Bodenplatte des Glaskastens gesetzt worden war. Man sieht dann nicht selten, daß zwischen dem bei *c* aufsteigenden und bei *g* herabsinkenden Luftstrom durch diesen letzteren die rotirende Luft des Randes in Form eines um seine horizontale Axe sich drehenden Schlauches (*b* Fig. 5, Taf. III zeigt den Durchschnitt) herunter gerollt wird.

Wie hier im Kleinen, so werden sich auch innerhalb der Atmosphäre ähnliche Bewegungen der Luft bilden; erhebt sich die Luft über einen stärker erwärmten Theil der Erdoberfläche, so wird dies auch, wenn die Bewegung inmitten einer Windstille besonders regelmässig vor sich geht, in Form einer großen Garbe mit dem charakteristischen rotirenden Rande geschehen. Stellt Fig. 6, Taf. III ein Stück Erdoberfläche dar, unten der Polarstrom oben der Aequatorialstrom in der Richtung der stark gezeichneten Pfeile fließend, so erreicht der bei *c* aufsteigende

Luftstrom bei großer Ebbe des Polarstromes (bei tiefem Barometerstande) bald die Region der Gränzfläche (die untere punctirte Linie Fig. 6, Taf. III), der Rand bei *a* erweitert sich, der obere Theil fließt mit dem oberen, der untere mit dem unteren Strome; der Rand bei *b* bleibt in Rotation, indem ein Theil des oberen Luftmeeres bei *b* herabsinkend auf die Erdoberfläche gelangt, die über *d* entstandene rückläufige Circulation beschleunigend. Ein Niederschlag, der sich im unteren Theile des rotirenden Schlauches (*b'* Fig. 6, Taf. III) bildet, wird durch die Gewalt der rotirenden Luft in die Höhe geführt (nach *b*), gefriert, wenn die Temperatur daselbst unter Null ist. Sobald das Korn wiederum in den unteren Theil gelangt, setzt sich neuer flüssiger Niederschlag daran, der, wenn dasselbe wiederum nach oben kömmt, anfriert, und so geht es fort, bis das gebildete Hagelkorn wegen seiner Schwere in der Tangente des Wirbels auf den Boden geschleudert wird; die Anzahl seiner concentrischen Eisschichten entspricht der Anzahl derjenigen Umläufe, während welcher es im oberen Theile einer Temperatur unter Null ausgesetzt war.

Wie beim Versuch, kann auch im Großen der rotirende Hagelschlauch durch die über *g* (Fig. 6, Taf. III) herabstürzende Luft des oberen Luftmeeres bis nahe auf die Erdoberfläche gerollt werden, ehe er zerfällt und seinen Inhalt ausschüttet.

Herrscht in der Gegend des unteren Theils der Rollen (bei *b'* Fig. 6, Taf. I) ebenfalls eine Temperatur unter Null Grad, so können sich in denselben natürlich nur feste schneeartige Niederschläge bilden; bei jedem Umschwunge vergrößern sich die Körnchen, enthalten kein durchsichtiges Eis und bilden die Graupeln. Kommen, indem die Rollen tiefer herabsinken, nunmehr ihre unteren Theile in Gegenden, deren Temperatur über dem Gefrierpunkt ist, so schlägt sich um das gebildete Graupelkorn flüssiges Wasser nieder, welches wiederum in den oberen Theilen gefriert. (Die Graupeln überziehen sich mit durchsichtigem Eise.)

Herrscht endlich in der Gegend des oberen Theiles (*b*) der Rollen, als sie sich bildeten, eine Temperatur über Null Grad, so gefriert der unten gebildete Niederschlag oben nicht; die einzelnen Tropfen vergrößern sich alsdann bei jedem Umschwunge; beim Ausschütten stürzt ein mehr oder minder grofstropfiger Regen hernieder (Wolkenhrüche, Gewitterregen, Platzregen).

Erhitzt man in einem Kasten einen großen Theil der Bodenfläche, so steigt die Luft immer nur am wärmsten Theil in die Höhe; ist also eine große Strecke der Erdoberfläche zwischen *e* und *h* (Fig. 6, Taf. III) erwärmt, und hat sich bei *c* am südlichsten und wärmsten Ende derselben ein aufsteigender Luftstrom gebildet, so wird durch die bei *g* herabfallenden Niederschläge die Temperatur nach *c* zu abgekühlt, alsdann rückt die Gegend der größten Wärme und mit ihr der aufsteigende Luftstrom immer weiter nach *h* zu und ihm folgt der herabstürzende Strom des oberen Luftmeeres.

In dieser Weise bewegt sich die rückläufige Circulation *gc* in der Richtung nach *h* zu, und haben sich Anfangs die beschriebenen Schläuche gebildet, so wird ihre Rotation beim Weiterücken nach *h* zu fortwährend unterhalten durch den vor ihnen aufsteigenden und hinter ihnen herabsinkenden Luftstrom. Auf solche Weise können Hagelwetter weite Strecken zurücklegen in der Richtung des oberen Aequatorialstromes von SW nach NO.

Eine deutliche Anschauung von dem Vorgange beim Herabsinken der Luft aus dem oberen Luftmeere in die absteigenden Luftströme der rückläufigen Circulationen, giebt folgender Versuch:

Man nehme einen oben offenen Glaskasten (von etwa $2\frac{2}{3}$ " Breite $9\frac{1}{4}$ " Höhe 13" Länge) und lege auf die Bodenplatte nahe dem einen Ende *a* (Fig. 7, Taf. III) ein größeres Stück Eis. Als bald beginnt die Luftcirculation im freien unbedeckten Raum, die man sichtbar macht, indem man von Zeit zu Zeit mittelst einer Röhre langsam Tabacksrauch in den Glaskasten sinken läßt. Der untere Strom

bewegt sich in der früher beschriebenen charakteristischen Bahn¹⁾; (man sieht bei dieser Circulation im freien Raum am schönsten das Abprallen der Luft von der Bodenfläche, das Auf- und Abwogen des unteren Stromes.) Es versteht sich, daß während des Experimentes die Luft im Zimmer möglichst ruhig seyn muß, da sonst von oben her in den offenen Kasten, störende Luftwirbel eindringen. Man kann nun innerhalb der großen Circulation leicht kleinere hervorbringen, wenn man kleinere Stückchen Eis auf den Boden des Glasgefäßes hie und da hinlegt.

Stellt Fig. 8, Taf. III einen Theil der im unbedeckten Raume stattfindenden und Fig. 7 gezeichneten Circulation, in der Richtung der stark gezeichneten Pfeile fließend dar, und liegt bei *a* ein kleines Stückchen Eis, so bildet sich über *ab* eine Circulation, deren unterer Lauf von *a* nach *b* gerichtet ist, also entgegen dem unteren Lauf der großen Circulation. Die Luft der oberen Strömung sinkt langsam herab, innerhalb der oberen Strömung schräg von *c* nach *d*, dann kehrt sie, sobald sie in den Bereich der unteren Strömung gekommen ist in einem spitzen Winkel um, und geht schräg abwärts von *d* nach *e*; ein kleiner Theil gelangt in die rückläufige Circulation, der größte Theil zieht weiter nach SW. Der Weg, den die herabsinkende Luft macht, beschreibt hienach einen Winkel *cde*.

Man kann nun den bei *b* aufsteigendem Luftstrom verstärken, dadurch, daß man bei *b* die Bodenplatte äußerst wenig erwärmt (Fig. 9, Taf. III). Dann stellt sich der aufsteigende Luftstrom steiler, der Winkel *cde* wird stumpfer, ein größerer Theil der herabsinkenden Luft gelangt in den unteren Lauf der rückläufigen Circulation.

Erwärmt man *b* ein klein wenig mehr (Fig. 10, Taf. II), so sinkt die Luft von *c* nach *e* fast gerade herab, und gelangt zum aller größten Theil in den unteren Lauf der rückläufigen Circulation, bei *b* giebt der aufsteigende Luftstrom entsprechend Luft ab, die mit dem oberen Luftmeere fortzieht.

1) Pogg. Ann. Bd. 100, S. 596.

Letzteres bleibt an seiner oberen Gränze in seiner Bewegung von SW nach NO ungestört.

Je höher also der aufsteigende Luftstrom steigt, desto heftiger sinkt die Luft aus der oberen Strömung herab, um so mehr Luft gelangt aus ihm in den unteren Lauf der rückläufigen Circulation. Für ein und dieselbe Höhe des aufsteigenden Luftstromes folgt daraus, daß, je höher sich das obere Luftmeer erhebt, um so langsamer, je tiefer es sich senkt, um so schneller Luft aus demselben in die unteren Circulationen gelangen muß¹⁾.

Der aufsteigende Luftstrom einer rückläufigen Circulation (über *b* Fig. 8, Taf. III) ebenso das ruhige Herabsinken der Luft aus dem oberen Luftmeer in den absteigenden Strom derselben, wie der in Fig. 8 dargestellte Versuch es zeigt, lassen sich nicht selten im Sommer am Himmel sehr deutlich erkennen an der eigenthümlichen Form der Niederschläge.

Ist z. B. in SW eine rückläufige Circulation, befindet sich also der Beobachter etwa in *f* (Fig. 8, Taf. III), so sieht derselbe von der genannten Circulation den aufsteigenden Luftstrom (über *b*) als ein über dem südwestlichen Horizonte mehr oder weniger hervorragendes durch *cumuli* gebildetes Wolkengebirge (Fig. 13, Taf. III zeigt die Vorderansicht). Darüber schwebt eine Schicht *cirrostratus*, der sich über einen Theil des Himmels in Gestalt feiner Streifen *cdg* (Fig. 13, Taf. III) verlängert, die wegen der Perspective nur seitwärts hakenförmige Biegungen zeigen (Windhaken), in der Mitte sich der geraden Linie nähern. Die oberen Fasern derselben *cd* (Fig. 8 und 13, Taf. III) gehen in der Richtung des oberen Luftmeeres schräg abwärts, die unteren Fasern *dg* (Fig. 8 und 13) in der Richtung des unteren Luftmeeres ebenfalls schräg abwärts. Am schönsten sieht man diese Wolkenbildungen unter den angegebenen Umständen an ruhigen Sommermorgen oder Abenden bei herrschenden nördlichen Winden.

Um von dem Einfluss, den die Erdrotation auf den

1) Vergl. Pogg. Ann. Bd. 100, S. 108.

aufsteigenden Luftstrom ausübt, eine Anschauung zu gewinnen, dient der nun zu beschreibende Versuch.

Eine flache Glastrommel von etwa 1' Durchmesser und 2" Höhe (Fig. 11, Taf. III zeigt den Grundriss, Fig. 12 den Durchschnitt; eine runde Glasscheibe *a* bildet die Deckplatte, ein Ring von Pappe *b* die senkrechte Wand der Trommel, eine runde Glasscheibe, etwas grösser als die Deckplatte, den Boden), wird auf einen kleinen Teller *c* (Fig. 12) gelegt, der sich um die verticale Axe *d* drehen läßt. Erhitzt man nun die Bodenplatte an irgend einer Stelle, welche, damit man sie nicht aus dem Auge verliere, vorher gezeichnet ist, dreht die Trommel langsam aber gleichförmig in der Richtung des Pfeils von W nach O herum und bläst demnächst durch ein in der Pappwand befindliches Loch *e* (Fig. 12) langsam Rauch in die sich drehende Trommel, so entsteht bald in der Nähe der gezeichneten Stelle, meist etwas gegen dieselbe zurückbleibend, eine Wirbelcirculation. Die von der Peripherie (von S her Fig. 11, Taf. III) zur erwärmten Stelle herbeiströmende Luft kommt von Orten, die eine grössere Drehungsgeschwindigkeit haben, sie eilt, indem sie sich der erwärmten Stelle nähert, der Bodenplatte voraus; ebenso kommt die Luft vom Centrum her aus Gegenden von geringerer Drehungsgeschwindigkeit, sie bleibt daher bei ihrer Annäherung gegen die Bodenplatte zurück. Hieraus entsteht eine wirbelnde Bewegung in der Richtung der Pfeile von W durch S und O nach N, in Folge deren die Luft sich der wärmeren Gegend in Spiralen nähert und hier ebenso in schraubenförmigen Gängen aufsteigt. In der Höhe entfernt sie sich wiederum in Spiralzügen, sinkt herab, um von neuem in derselben Weise sich dem erwärmten Orte zu nähern.

Erhitzt man einen längeren Streifen der Bodenplatte, so entstehen mehrere Wirbel besonders leicht nahe den Enden desselben. An den zwischenliegenden Stellen bilden sich alsdann breite einfach aufsteigende Luftströme ohne drehende Bewegung.

Die einmal gebildeten Wirbel bleiben nicht an der Stelle, wo sie entstanden, sie folgen vielmehr der gerade herrschenden Luftströmung. Dreht man die Trommel plötzlich etwas langsamer, so eilen sie mit der ganzen Luftmasse der erwärmten Stelle voran, dreht man plötzlich schneller, so bleiben sie zurück, bald aber zerfallen sie und neue Wirbelcirculationen bilden sich in der Nähe der erwärmten Stelle. Je grösser die Erwärmung war, desto rapider die Wirbelbewegung.

Die Spindel, d. h. derjenige Theil, in welchem die Luft schraubenförmig in die Höhe steigt, hat bei diesem Versuch die Form eines Doppelkegels, sie ist unten und oben dicker, ihr mittlerer Theil dünner und oft mannigfach geschlängelt und gewunden, wie dies bei Wind- und Wasserhosen häufig bemerkt worden ist.

In ähnlicher Weise müssen auch in der Natur grössere und kleinere Wirbelstürme erzeugt werden können. Wird also z. B. in einiger Entfernung vom Aequator eine Insel im Meere von der tropischen Sonne stark erhitzt, so nähert sich die Luft von allen Seiten her in Spiralen, um so vollkommener, je ungestörter und gleichmässiger dies Zuströmen geschehen kann, am vollkommensten also dann, wenn vorher eine weit verbreitete Windstille in dieser Gegend herrschte. Hat sich einmal ein Wirbelsturm gebildet, so wird er mit dem herrschenden Winde fortziehen und an Orte gelangen, deren Temperatur gar nicht so hoch ist, als dafs dort für sich ein Wirbelsturm hätte erzeugt werden können. Am Aequator selbst ist der Unterschied der Drehungsgeschwindigkeit für die nördlich und südlich von der erwärmten Stelle gelegenen Orte verschwindend klein, in hohen Breiten ist die Erwärmung wegen der schräger fallenden Sonnenstrahlen geringer, zwischen beiden Regionen werden daher die Inselreichen Meere in den Gegenden der Wendekreise von den heftigsten Tornado's heimgesucht.

Der Erfahrung zufolge und dem Versuche entsprechend, ist der Sturm bei dergleichen Tornados auf der dem Aequa-

tor zugewandten Seite gleichläufig mit der Bewegung des letzteren; auf der nördlichen Halbkugel bewegt sich also bei ihnen die Luft von S durch O N und W, auf der südlichen umgekehrt.

Wie der gerade, so erzeugt auch der wirbelnd über *c* (Fig. 4, Taf. III) aufsteigende Luftstrom eine über *gc* rückläufige Circulation, wie man dies sieht, wenn man bei dem in Fig. 4 dargestellten Versuch den Glaskasten auf die Scheibe (*c* Fig. 12) setzt und langsam herumdreht. Die bei *b* (Fig. 4) herabsinkende Luft nähert sich, nachdem der aufsteigende Luftstrom sich zu einem Wirbel geformt, unten angelangt spiralförmig über *d* hinweg zur erwärmten Stelle und nimmt demnächst Theil an dem Wirbel. Oben wird derselbe zerstört, aber von unten her immer wieder neu gebildet. Auf solche Weise können daher auch in der Natur wirbelnd aufsteigende Luftströme unter den in S. 249 angegebenen Umständen in der Richtung des Aequatorialstromes oder ihr sich nähernd, fortziehen, indem ihnen der durch die Luft aus dem oberen Luftmeer verstärkte absteigende Luftstrom folgt.

Durch die Centrifugalkraft der wirbelnden Luft entsteht im Innern des Wirbels ein luftverdünnter Raum. Je näher der Spindel, um so tiefer sinkt das Barometer. Beim Versuch kann man aber eine Reihe hieraus hervorgehender eigenthümlicher Erscheinungen beobachten, am besten, wenn man einen Wirbel in dem letzterwähnten sich drehenden Glaskasten erzeugt. Man sieht nämlich nicht selten beim Entstehen desselben, wie in seinen inneren verdünnten Raum Luft von oben nach unten hineingesogen wird. Dies Hineindringen geschieht, wie es der einfach aufsteigende Luftstrom zeigt, ebenfalls in Form einer nach unten gerichteten Garbe mit unten umgebogenen in sich zurücklaufenden Rändern. An der Stelle, wo die nach außen tretenden Ränder *ab* (Fig. 14, 15) sich befinden, verdickt sich die Spindel *c* und ihre wirbelnde Bewegung wird langsamer und verworrener. Mit der Zeit zerfallen die Rollen, der ganze Kopf des Wirbels *ab* zer-

streut sich, und eine schlanke schnell sich drehende Spindel entsteht von Neuem; nach einiger Zeit wiederholt sich dann der eben beschriebene Proceß. Hiernach können sich innerhalb der Wirbelstürme durch die Rollenbewegungen der von oben hineingesogenen Luft, Hagelwetter etc., bilden, in der Gegend von *ab* (Fig. 15).

Die im Vorhergehenden erwähnten meteorologischen Vorgänge entstehen, so weit sie Producte des aufsteigenden Luftstromes sind, naturgemäfs über relativ wärmeren Gegenden der Erdoberfläche. In der Nähe des Aequators am grofsartigsten und häufigsten, werden sie unbedeutender und seltener, je mehr man sich dem Pole nähert. Im Winter bilden sie sich leichter in der Nähe des wärmeren Meeres oder über demselben, im Sommer leichter über dem wärmeren Lande. Dem entsprechend werden z. B. Wintergewitter mit Hagel oder Graupeln verhältnifsmäfsig häufiger in dem westlichen dem atlantischen Meere zugewandten Theile Europas beobachtet, Sommergewitter dagegen häufiger in den östlichen dem asiatischen Continent näher gelegenen Gegenden ¹⁾.

1) S. Kämtz Meteorologie Bd. 2, S. 460 u. 510.

Berichtigung: Bd. 100, S. 599 Z. 3 v. o. l. 334''',5 statt 324''',5.

V. Ueber das Erlöschen der Schallschwingungen in heteorgenen Flüssigkeiten.

Die bekannte Erfahrung, daß Trinkgläser, die mit Champagner-Wein oder einer anderen aufschäumenden Flüssigkeit gefüllt sind, beim Anstoßen nicht klingen, so lange die Gasentwicklung anhält, hat Hrn. Ernst Baudrimont zu einer Reihe von Versuchen veranlaßt, welche die Ansicht bestätigen, als Grund der Erscheinung die Heteorgenität der Flüssigkeit zu betrachten, welche die regelmässige Verbreitung der Schallwellen hindert. So fand er, daß ein mit fettem Oel gefülltes Glas ziemlich eben so gut erklingt wie ein mit reinem Wasser gefülltes, daß aber der Klang sehr bedeutend geschwächt wird, so wie man statt dieser Flüssigkeiten ein durch Schütteln hergestelltes Gemeng von beiden anwendet. Ein mit Gallerte oder Stärkekleister gefülltes Glas gab ebenfalls einen durchaus matten Ton. Auch starre pulverartige Körper, z. B. Kreide, in Wasser eingerührt, vernichten den Klang. Es stand zu erwarten, daß die Dampfblasen des siedenden Wassers ebenso wirken würden, allein der Versuch gab kein entscheidendes Resultat.

Dagegen überzeugte er sich, daß die bekanntlich so hell tönenden Schwingungen, welche man erhält, wenn man den Rand eines Glases mit feuchtem Finger streicht, durch eine aufschäumende Flüssigkeit nicht unterdrückt werden (*Compt. rend. T. 45, p. 258*).

V. Ueber die Margarinsäure; von W. Heintz.

In meinen Arbeiten über die natürlichen Fette habe ich ¹⁾ dargethan, daß die fette Säure, welche man aus natürlichen Fetten gewonnen und Margarinsäure genannt hatte, ein Gemisch von Palmitinsäure und Stearinsäure ist, daß eine Margarinsäure, d. h. eine Säure von der Formel $C^{34}H^{34}O^4$ aus natürlichen Fetten nicht erhalten werden kann. Aus diesen Untersuchungen geht ferner hervor, daß bei Verseifung natürlicher Fette überhaupt keine feste Säure der Fettsäurereihe gebildet wird, deren Kohlenstoffatomanzahl nicht durch 4 theilbar wäre. In einem später im Jahre 1855 publicirten Aufsatz ²⁾, worin ich in gedrängter Kürze die Resultate meiner sämtlichen Untersuchungen über die Fette zusammengefaßt habe, sage ich jedoch ausdrücklich, daß damit die Nichtexistenz solcher Säuren durchaus nicht erwiesen wäre, daß ich vielmehr selbst Versuche anzustellen beabsichtigte, auf künstlichem Wege ein Glied oder mehrere Glieder der Fettsäurereihe zu erzeugen, deren Kohlenstoffatom durch vier nicht theilbar ist. Namentlich war es mir darum zu thun, die Margarinsäure $C^{34}H^{34}O^4$ künstlich darzustellen.

Selbst durch anderweitige Arbeiten behindert, veranlaßte ich Hrn. Stud. med. Köhler, Versuche in dieser Richtung anzustellen. Die Resultate dieser Versuche, die freilich noch sehr unvollkommen blieben, finden sich in dem vorjährigen April und Maiheft der Zeitschrift für die gesammten Naturwissenschaften (Bd. 7, S. 352 bis 360) abgedruckt.

Die Idee, welche diesen Versuchen zu Grunde lag, war die, zunächst die Cyanverbindung des Cetyls zu erzeugen,

1) Diese Annalen Bd. 87, S. 573 u. folg.*, Bd. 90, S. 139 u. folg.* u. andere.

2) Journ. f. pract. Chem. Bd. 66, S. 48*.

Poggendorff's Annal. Bd. CII.

und diese durch Kalihydrat in Ammoniak und margarinsaures Kali zu verwandeln gemäß der Formel $(C^{32}H^{33} + C^2N) + KO + 3HO = (C^{34}H^{33}O^3 + KO) + NH^3$. Es wurde zu dem Ende zunächst cetyloxydschwefelsaures Kali dargestellt, und dieses mit Cyankalium bis 140° lange Zeit erhitzt. Die erhaltene Masse wurde mit Aether extrahirt und in dem Aether die Gegenwart zweier fester Substanzen nachgewiesen, einer mit Kalihydrat Ammoniak entwickelnden und in eine Seife sich verwandelnden, und einer anderen dadurch nicht verseifbaren. Hr. Köhler hielt den ersteren für das unreine Cyancetyl. Spätere Versuche haben mich jedoch überzeugt, daß darin nur sehr wenig Cyancetyl enthalten war, dagegen eine große Menge der schon fertig gebildeten Säure. Diese war dadurch entstanden, daß das Cyankalium, welches Hr. Köhler zu seinen Versuchen verwendete, reichlicher Kalihydrat enthielt, als dieser es nach seinen Versuchen glaubte. Daher rührte denn auch die reichliche Ammoniakentwicklung, welche er bei Einwirkung des cetyloxydschwefelsauren Kalis auf Cyankalium bemerkte. Das gebildete Cyancetyl wurde durch das Kalihydrat sofort in margarinsaures Kali und Ammoniak verwandelt. Leider erhielt Hr. Köhler nicht so viel der festen Säure, die außerdem immer noch ein Gemisch seyn konnte von Margarinsäure mit dem 38 Atome Kohlenstoff enthaltenden Gliede der Fettsäurereihe, um eine genauere Untersuchung derselben auszuführen. Denn das zur Darstellung des cetyloxydschwefelsauren Kalis angewendete Aethal war zwar durch Umkrystallisiren von dem Lethal (Lethalyl- oder Laurylalkohol) und dem Methal (Methylal- oder Myristylalkohol) befreit, enthielt aber neben seinem Hauptbestandtheil, dem eigentlichen Aethal (Aethylal-, Cetyl- oder Palmitylalkohol), entschieden noch Stethal (Stethylal- oder Stearylalkohol). Es mußte sich also auch stethylalyschwefelsaures Kali, ferner Cyanstethylalyl und endlich die 38 Atome Kohlenstoff enthaltende Säure neben cetyloxydschwefelsaurem Kali, Cyancetyl und Margarinsäure bilden.

Weil es nun Hrn. Köhler nicht vergönnt war, die mit großer Ausdauer begonnene Arbeit durch fernere Versuche zu vervollständigen, so unternahm ich die Fortsetzung derselben selbst, womit ich seit dem Herbst vorigen Jahres beschäftigt bin.

Als ich mit derselben so weit gediehen war, daß mir eine zu den Analysen mehr als genügende Quantität reiner Margarinsäure zu Gebote stand, kam mir die Arbeit von Becker ¹⁾ zu Gesicht, welche unter Limpricht's Leitung ausgeführt worden ist, und welche denselben Gegenstand behandelt. Dieser ist von derselben Idee ausgegangen, die mich schon ein Jahr früher angetrieben hatte, Hrn. Köhler zu den oben erwähnten Versuchen zu veranlassen. Die Ausführung geschah in einer etwas anderen Weise, einer Weise die der ganz analog war, welche ich indessen auch schon eingeschlagen, aber wieder aufgegeben hatte, weil ich keinen günstigen Erfolg sah. Becker hat nämlich nicht das cetyloxydschwefelsaure Kali zum Ausgangspunkt gewählt, sondern das Jodcetyl, welches er vergeblich durch Cyansilber oder Cyanquecksilber in Jodmetall und Cyancetyl überzuführen suchte, und das er deshalb endlich mit einer weingeistigen Cyankaliumlösung anhaltend kochte, um diesen Zweck zu erreichen. Der Körper, welchen er auf diese Weise gewann, war in Aether löslich und enthielt gewiß Cyancetyl, denn er war reich an Stickstoff. Außerdem hatte sich aber schon eine fette Säure gebildet, die von dem Cyancetyl vollkommen zu trennen Becker nicht gelang. Die Entstehung dieser Säure ist einfach dadurch bedingt, daß das angewandte Cyankalium nicht frei von Kalihydrat gewesen war. Weil das gewonnene Cyancetyl noch Margarinsäure enthielt, so fand sich auch bei der Analyse dieses Körpers ein Gehalt von 3 bis 4 Proc. Sauerstoff. Allerdings müssen noch andere stickstoffhaltige Verbindungen zugegen gewesen seyn. Denn nähme man an, der untersuchte Körper habe nur Cyancetyl ($C^{34}H^{33}N$) und Margarinsäure ($C^{34}H^{34}O^4$) ent-

1) Ann. der Chem. und Pharm. Bd. 102, S. 209.*

halten, so würde aus dem Sauerstoffgehalt sich ein Gehalt desselben von 28,7 Proc. Margarinsäure ergeben und dann dürften 100 Theile des Gemischs nur 3,6 Proc. Stickstoff gegeben haben, während im Mittel 5,5 Proc. gefunden wurden.

Durch diese Verunreinigung mögen denn die ferneren Resultate der Untersuchung von Becker in Betreff der durch Kalihydrat aus dem Cyancetyl gebildeten Margarinsäure bedingt gewesen seyn, welche von den durch mich erhaltenen gänzlich abweichen. Seine Margarinsäure schmolz nämlich bei 52° bis 53° C., während die reine Margarinsäure, wie ich weiter unten beweisen werde, bei $59^{\circ},9$ C. flüssig wird. Diese Abweichung läßt sich schwerlich dadurch erklären, daß die von Becker gewonnene Säure ein Gemisch der vier Säuren gewesen sey, welche aus den vier nach meinen Untersuchungen im Aethyl enthaltenen Alkoholen durch Umwandlung in die Cyanverbindung und Kochen dieser mit Kalihydrat entstehen müssen. Denn trotz der mehrfachen partiellen Fällungen, welche Becker vorgenommen hat, gelang es ihm nicht jemals Säureportionen abzuscheiden, welche einen höheren Schmelzpunkt als 53° C. und einen niedrigeren als 49° C. besaßen, während der niedrigste Schmelzpunkt, welchen ich an Säureportionen beobachtete, die ich aus der von mir dargestellten rohen Margarinsäure durch partielle Fällung und Umkrystallisiren gewann, $52^{\circ},7$ C. der höchste $66^{\circ},2$ C. war. Allerdings hatte ich das von mir als Ausgangspunkt der Untersuchung benutzte Aethyl, um die beiden an Kohlenstoff ärmeren Alkohole zu entfernen, mehrfach aus Alkohol umkrystallisirt, also die Bildung der Säure der Fettsäurereihe mit 26 und 30 Atome Kohlenstoff vermieden. Dieß scheint Becker nicht vorgesehen zu haben, wie er auch unterlassen hat zu versuchen, die durch partielle Fällung nicht mehr in Portionen von verschiedenen Schmelzpunkt trennbare Säure durch Umkrystallisiren zu reinigen, wodurch ihr Schmelzpunkt möglicherweise bedeutend hätte gesteigert werden können.

In dem Folgenden will ich nun meine Versuche beschreiben, welche ich zur Darstellung einer 34 Atome Kohlenstoff enthaltenden Säure der Fettsäurereihe angestellt habe.

Da ich aus den Versuchen des Hrn. Köhler wufste, daß die Darstellung des Cyancetyls aus cetylschwefelsaurem Kali große Schwierigkeiten hat, und daß namentlich von dem angewendeten Aethal nur eine geringe Menge in Cyancetyl oder die daraus durch Kali entstehende Säure umgewandelt wird, so versuchte ich Chlorcetyl durch Cyanmetalle zu zersetzen.

Zur Gewinnung des Chlorcetyls untersuchte ich zuerst das Verhalten des Aethals gegen Chlorwasserstoffgas. Sowohl beim Einleiten dieses Gases in das geschmolzene Aethal, als in eine Lösung desselben in absolutem Alkohol beobachtete ich eine zu geringe Verminderung des Schmelzpunkts dieses Körpers, als daß, da das Chlorcetyl bei gewöhnlicher Temperatur flüssig ist, dieses in bedeutender Menge hätte gebildet seyn können.

Auch durch Einwirkung von Chlorwasserstoff im Entstehungsmomente auf Aethal, bildete sich diese Verbindung nicht. Ich mischte zu dem Ende im Wasserbade geschmolzenes Aethal mit einem starken Ueberschuß von Kochsalz und fügte allmählich jedoch nur so viel concentrirte Schwefelsäure hinzu, daß nur ein kleiner Theil des Kochsalzes zersetzt werden konnte. Nach beendeter Reaction wurde die Masse mit Aether ausgekocht, wobei, wie zu erwarten war, Chlornatrium und schwefelsaures Natron zurückblieb. Die Lösung wurde abdestillirt, und der Rückstand mit absolutem Alkohol gekocht. Es blieb ein flüssiger Körper ungelöst, der beim Erkalten erstarrte. Die alkoholische Flüssigkeit enthielt nur eine geringe Menge wahrscheinlich derselben Substanz, die sich im Alkohol nicht gelöst hatte.

Daß sich Chlorcetyl nicht gebildet hatte, geht aus diesen Versuchen hervor. Ich habe jedoch den erzeugten Stoff durch Umkrystallisiren aus einer Mischung von Al-

kohol und Aether unter gleichzeitiger Anwendung von Thierkohle zu reinigen gesucht. Dabei erhöhte sich der Schmelzpunkt fortdauernd, jedoch jedesmal nur sehr unbedeutend. Nach 13 maligem Umkrystallisiren war derselbe von $47^{\circ},9$ C. bis auf $55^{\circ},7$ C. gestiegen. Danach war die Menge der übrig gebliebenen Substanz so gering geworden, daß weitere Versuche unmöglich waren, eine reine Substanz zu gewinnen. Auch eine Analyse war nicht mehr möglich. Ich sammelte daher die in den letzten ätherischen Lösungen gelöst gebliebene Substanz, und analysirte sie, nachdem ich ihren Schmelzpunkt zu $53^{\circ},1$ C. festgestellt hatte.

0,1802 Grm. dieses Körpers lieferten 0,5368 Grm. Kohlensäure und 0,2220 Grm. Wasser, entsprechend 0,1464 Grm. oder 81,24 Proc. Kohlenstoff und 0,0248 Grm. oder 13,75 Proc. Wasserstoff.

Kohlenstoff	81,24
Wasserstoff	13,75
Sauerstoff	5,01
	<hr/> 100.

Da dieser Körper nicht rein war, so ist es werthlos dafür eine Formel aufzusuchen. Doch hat er fast genau dieselbe Zusammensetzung, wie der Körper, welcher, wie weiter unten gezeigt werden wird, bei Einwirkung von concentrirter Schwefelsäure auf im Wasserbade schmelzendes Aethyl entsteht, und der wahrscheinlich ein Gemisch von Cetyläther mit Palmitinaldehyd ist.

Da es nicht gelungen war, nach einer der beschriebenen Methode Chlorcetyl zu erhalten, so bediente ich mich zur Darstellung desselben der von Dumas ¹⁾ angegebenen Methode. Ich mischte in einer Retorte zu 112 Grm. Phosphorsuperchlorid eben so viel Aethyl, wobei ersteres allmählich an Masse abnahm und die Mischung sich verflüssigte, und eine reichliche Chlorwasserstoffentwicklung stattfand. Indessen blieb doch so viel Phosphorsuperchlorid

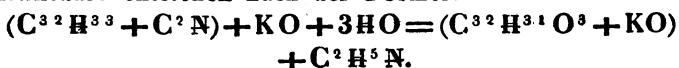
1) *Ann. de Chim. et de Phys.* T. 62, p. 4 und *Journ. f. pract. Chem.* Bd. 9, S. 293.

rid unverändert, daß ich noch 20 Grm. Aethyl hinzugeben konnte. Nach vollendeter Reaction wurde die Mischung der Destillation unterworfen, wobei zuerst eine reichliche Menge Phosphoroxchlorid zuletzt das Chlorcetyl überging. Zur Reinigung desselben wurde es noch einmal mit Phosphorsuperchlorid auf dieselbe Weise behandelt, dann mit Wasser gewaschen und getrocknet.

Von diesem Chlorcetyl mischte ich 92 Grm. mit 32 Grm. durch Einleiten von Blausäure in eine concentrirte alkoholische Kalilösung, Auspressen und Trocknen des Niederschlags unter der Luftpumpe gewonnenen Cyankaliums und erhitzte die Mischung längere Zeit ohne eine Einwirkung zu bemerken. Der ölige Körper enthielt keine Spur Stickstoff, den ich darin nach der gewöhnlichen Methode mittelst Natronkalk vergeblich zu entdecken suchte. Auch bei anhaltendem Kochen dieser Mischung bildete sich kein Cyancetyl, wogegen eine langsame Ammoniakentwicklung bemerkt werden konnte. Das Chlorcetyl hatte sich aber, freilich nur zum kleinen Theil, verändert. Denn bei etwas über 0° C. setzte sich daraus eine geringe Menge einer festen Substanz ab, die aber ebenso wenig als der flüssig gebliebene Theil stickstoffhaltig war. Da also auch dieser Versuch Cyancetyl zu erhalten misslungen war, so mischte ich das Chlorcetyl, nachdem ein Probeversuch gezeigt hatte, daß auch Cyanquecksilber keine Einwirkung auf Chlorcetyl hat, mit einem gleichen Gewicht Cyansilber und erhitzte diese Mischung, welche in eine starke sorgfältig mit einem Glasstöpsel geschlossene und fest verbundene Flasche gebracht worden war, 52 Stunden in einem papinischen Topfe. Die erhaltene Masse wurde mit Aether extrahirt, der Aether abdestillirt und der nun geringe Mengen Stickstoff enthaltende Rückstand mit einer alkoholischen Lösung von Kalihydrat anhaltend gekocht, wobei unter schwacher Ammoniakentwicklung die Mischung bis fast zur Trockne gebracht wurde. Durch Kochen mit Salzsäure wurde die Kaliverbindung zersetzt, die gewonnene fette Masse ward in kochendem Alkohol gelöst, die Lö-

sung mit essigsaurem Silberoxyd gefällt, der gewaschene Niederschlag mit Aether ausgekocht und endlich das Bleisalz durch kochende verdünnte Salzsäure zersetzt. Die gewonnene fettähnliche Substanz ward dann noch einmal mit Hülfe von Ammoniakflüssigkeit und Chlorbaryum in das Barytsalz verwandelt, das zuerst mit Wasser ausgewaschen, dann mit Aether ausgekocht wurde, bis dieser nichts Lösliches mehr aufnahm. Nach Zersetzung des reinen Barytsalzes durch kochende verdünnte Salzsäure erhielt ich endlich eine nur geringe Menge einer fetten Säure, deren Schmelzpunkt bei 52°,7 C. lag. Ihre Menge war viel zu gering um weitere Versuche damit anzustellen.

Das bei diesem Versuch entwickelte Ammoniak war in Salzsäure aufgefangen worden. Die Lösung wurde zur Trockne gebracht und der Rückstand mit absolutem Alkohol extrahirt. Die Lösung ward mit Aether gemischt, der dadurch erhaltene Niederschlag abfiltrirt und zum Filtrat Platinchlorid hinzugesetzt. Der dadurch erhaltene Niederschlag wurde auf seinen Platingehalt untersucht, um zu ermitteln, ob nicht etwa neben Ammoniak Methylamin entwickelt wurde. Dann mußte aus dem Cyancetyl auch Palmitinsäure entstehen nach der Formel:



0,5017 Grm. dieser Platinverbindung lieferten beim Glühen 0,2210 Grm., d. h. 44,05 Proc. Platin. Nach der Rechnung enthält das Ammoniumplatinchlorid 44,21 Platin, wogegen in dem Methylammoniumplatinchlorid nur 41,60 Proc. Platin enthalten sind. Hiernach war das entwickelte Ammoniak rein und enthielt kein Methylamin. Folglich durfte ich ferner schliessen, daß bei Zersetzung des Cyancetyls durch Kalihydrat nichts einer fetten Säure entstehen könne, deren Kohlenstoffatomanzahl durch vier theilbar ist.

Da auch dieser Versuch zu keinem günstigen Resultat geführt hatte, so kehrte ich zu der schon von Hrn. Köhler benutzten Methode der Darstellung des Cyancetyls zurück.

Zur Gewinnung des cetyloydschwefelsauren Kalis erhitze ich Aethyl mit der Hälfte seines Gewichtes Schwefelsäurehydrat längere Zeit im Wasserbade theils an der Luft, theils in einem hermetisch verschlossenen Gefäß, also vor dem Sauerstoff geschützt. In beiden Fällen wurde eine merkliche Entwicklung von schwefliger Säure beobachtet. Die Mischung färbte sich dunkelbraun, und eine merkliche Menge cetyloxydschwefelsauren Kalis konnte aus der Mischung nicht gewonnen werden. Als nämlich diese Masse mit Alkohol gekocht wurde, löste sich dieselbe nicht auf, sondern es blieb eine flüssige in der Kälte festwerdende Substanz ungelöst. In der Flüssigkeit fand sich nur eine unbedeutende Menge organischer Substanz. Sie hätte die Cetyloxydschwefelsäure enthalten müssen. Die darin nicht lösliche Substanz wurde acht Mal aus Aether umkrystallisirt, wobei gleichzeitig durch Anwendung von Thierkohle ihre Entfärbung bewirkt wurde.

Die so gewonnene Substanz war immer noch nicht rein, denn ihr Schmelzpunkt war bei jedesmaligem Umkrystallisiren, wenn auch nur unbedeutend erhöht worden. Nach vollendeter Analyse überzeugte ich mich in der That, daß derselbe noch weiter erhöht werden konnte.

Die Analysen dieses bei 53°,4 C. schmelzenden Körpers ergaben folgende Zahlen:

I. 0,2246 Grm. desselben lieferten 0,6689 Grm. Kohlensäure und 0,2814 Grm. Wasser, entsprechend 0,18243 Grm. oder 81,22 Proc. Kohlenstoff, und 0,03127 Grm. oder 13,92 Proc. Wasserstoff.

II. 0,2626 Grm. derselben Substanz gaben 0,7844 Grm. Kohlensäure und 0,3263 Grm. Wasser. Diefs entspricht 0,21393 Grm. oder 81,46 Proc. und 0,03626 Grm. oder 13,81 Proc. Wasserstoff.

III. Aus 0,8109 Grm. erhielt ich 0,9288 Grm. Kohlensäure und 0,3861 Grm. Wasser, entsprechend 0,25331 Grm. oder 81,45 Proc. Kohlenstoff und 0,0429 Grm. oder 13,80 Proc. Wasserstoff.

IV. 0,2722 Grm. lieferten 0,812 Grm. Kohlensäure

und 0,3363 Grm. Wasser, woraus sich ergeben 0,22145 Grm. oder 81,31 Proc. Kohlenstoff und 0,03737 Grm. oder 13,73 Proc. Wasserstoff.

V. 0,2227 nicht bei höherer Temperatur, sondern nur unter der Luftpumpe getrockneter Substanz gaben 0,6662 Grm. Kohlensäure und 0,2792 Grm. Wasser. Diefs entspricht 0,18169 Grm. oder 81,51 Proc. Kohlenstoff und 0,03102 Grm. oder 13,91 Proc. Wasserstoff.

Hieraus folgt folgende Zusammensetzung:

	I	II	III	IV	V	Mittel	berech.	
Kohlenstoff	81,22	81,46	81,45	81,36	81,51	81,40	81,42	46C
Wasserstoff	13,92	13,81	13,80	13,73	13,93	13,84	13,86	47H
Sauerstoff	4,86	4,73	4,75	4,91	4,56	4,76	4,72	2O
	100	100	100	100	100	100	100	

Die Formel $C^{46} H^{47} O^2$ ist nichts weniger als wahrscheinlich. Dafs der analysirte Körper obige Zusammensetzung besafs, spricht vielmehr dafür, dafs derselbe keine reine Substanz war, was sich denn durch Erhöhung des Schmelzpunktes bei fernerm Umkrystallisiren zur Evidenz ergab.

Fragt man, welche Substanzen aus dem Cetylalkohol sich unter dem Einflufs der heifsen concentrirten Schwefelsäure bilden können, so liegt wohl die Bildung des Cetyläthers am nächsten. Da sich bei jener Einwirkung aber schweflige Säure entwickelt hatte, so mufs eine Oxydation eingeleitet seyn und dadurch mufs aus dem Aethyl zunächst Palmitylaldehyd gebildet werden. Diese beiden Körper sind bekannt. Nach Fridau ¹⁾ sind beide Körper fest, schwer in Alkohol, leicht in kochendem Aether löslich. Jener schmilzt bei 55°, dieser bei 52° C. Die von mir untersuchte Substanz schmolz bei 53°,4 C. und besafs die übrigen von Fridau angegebenen Eigenschaften dieser beiden Körper. Nimmt man an, dieselbe habe aus einem Gemisch der beiden genannten Körper bestanden, und zwar in dem Verhältnifs von 1 Atom Palmitylaldehyd und 2 Atomen

1) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. 83, S. 22 u. 23.*

Cetyloxyd, so hätte die Zusammensetzung desselben gewesen seyn müssen:

	berechnet		gef. i. Mittel
Kohlenstoff	81,59	96 C	81,40
Wasserstoff	13,88	98 H	13,84
Sauerstoff	4,53	4 O	4,76
	<hr/> 100		<hr/> 100

Es ist mir bis jetzt nicht möglich gewesen, die Vermuthung, daß diese Substanz wirklich ein solches Gemenge dieser beiden Körper sey, zur Gewißheit zu erheben.

Die ähnliche Substanz, welche unter dem Einfluß von Schwefelsäure bei Gegenwart überschüssigen Chlornatriums erzeugt worden war, hat nahezu dieselbe Zusammensetzung. Auch sie ist daher wahrscheinlich ein Gemisch von Cetyläther mit dem Palmitylaldehyd.

Dieser fehlgeschlagene Versuch der Darstellung des cetyloxydschwefelsauren Kalis führte mich naturgemäß dazu, bei einer Wiederholung desselben die Temperatur möglichst niedrig zu erhalten, und die Einwirkung möglichst bald zu unterbrechen. Deshalb mischte ich nur eben bis zur Schmelzung erhitztes Aethyl mit kalter concentrirter Schwefelsäure. Hierbei fand eine geringe Temperaturerhöhung statt, und es entwickelte sich eine Spur schwefliger Säure. Die Mischung wurde bald in eine große Menge warmen Alkohols gebracht, dann mit Kalihydratlösung gesättigt und die Mischung bis zum Kochen erhitzt, worauf sie kochend heiß filtrirt wurde. Das Filtrat erstarrte vollkommen. Die feste Masse wurde von der Flüssigkeit durch Pressen befreit und durch Auskochen mit Aether von allen darin löslichen Stoffen (unverändertes Aethyl, Cetyläther, Palmitylaldehyd) befreit, worauf das gewonnene Salz endlich aus Alkohol umkrystallisirt ward. Die Ausbeute war eine ziemlich reichliche.

I. 0,5504 Grm. dieses Salzes im Platintiegel mit der nöthigen Vorsicht verbrannt hinterließen 0,1310 Grm. neutralen schwefelsauren Kalis, entsprechend 0,0708 Grm. oder

12,86 Proc. Kali. Das cetyloxydschwefelsaure Kali enthält nach der Theorie 13,09 Proc. Kali.

II. 0,5999 des nochmals mit Aether extrahirten Salzes lieferten 0,1426 Grm. schwefelsauren Kalis. Diefs entspricht 0,0771 Grm. oder 12,85 Proc. Kali.

III. Aus 0,6353 Grm. desselben wurden 0,1525 Grm. schwefelsauren Kalis, entsprechend 0,0819 Grm. oder 12,89 Proc. Kali erhalten.

IV. 0,450 Grm. des Salzes lieferten 0,1079 Grm. schwefelsauren Kalis, entsprechend 0,0583 Grm. oder 12,96 Proc. Kali.

V. Aus 1,0857 Grm. desselben erhielt ich 0,2615 Grm. schwefelsauren Kalis, entsprechend 0,1414 Grm. oder 13,02 Proc. Kali.

VI. Bei der Elementaranalyse, welche im Sauerstoffstrom und mit Hülfe eines Gemisches von Kupferoxyd und Bleioxyd ausgeführt wurde, erhielt ich aus 0,3675 Grm. des Salzes 0,7168 Grm. Kohlensäure und 0,302 Grm. Wasser. Im Schiffchen blieb ein Rückstand von 0,0883 Grm. Derselbe reagirte weder sauer noch alkalisch und entwickelte beim Uebergießen mit Chlorwasserstoff kein Schwefelwasserstoffgas, war daher abgesehen von 0,0002 Grm. Kohle, die darin enthalten waren, reines neutrales schwefelsaures Kali. Daraus folgt, dafs in dem Salze enthalten waren 0,1957 Grm. oder 53,26 Proc. Kohlenstoff, 0,03356 Grm. oder 9,13 Proc. Wasserstoff, 0,0476 Grm. oder 12,95 Proc. Kali, und bei der Annahme, dafs noch einmal so viel Schwefelsäure als im gewonnenen schwefelsauren Kali enthalten sey 0,0810 Grm. oder 21,99 Proc. Schwefelsäure.

VII. 0,3466 Grm. desselben Salzes lieferten 0,6556 Grm. Kohlensäure, 0,2770 Grm. Wasser und 0,0806 Grm. schwefelsauren Kalis, das vollkommen rein war, und nur eine unwäg bare Spur Kohle enthielt. Hiernach enthielt das Salz 0,1788 Grm. oder 53,12 Proc. Kohlenstoff, 0,03078 Grm. oder 9,14 Proc. Wasserstoff, 0,04356 Grm. oder 12,93 Proc. Kali, 0,07408 Grm. oder 22,01 Proc. Schwefelsäure.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	berech.
Kohlenstoff	—	—	—	—	—	53,26	53,12	53,32 32 C
Wasserstoff	—	—	—	—	—	9,13	9,14	9,16 33 H
Sauerstoff	—	—	—	—	—	2,67	2,80	2,22 1 O
Schwefelsäure	—	—	—	—	—	21,99	22,01	22,21 2 SO ³
Kali	12,86	12,85	12,89	12,96	13,02	12,95	12,93	13,09 1 KO
						100	100	100

Das Salz war hiernach rein von fremden Beimengungen. Die Resultate der Analyse stimmen so genau mit der Formel des cetyloxydschwefelsauren Kalis, daß es scheinen möchte, als könne es auch nicht durch stethyloxydschwefelsaures Kali verunreinigt seyn, dessen Formel ist $(\text{SO}^3 + \text{KO}) + (\text{SO}^3 + \text{C}^{36} \text{H}^{37} \text{O})$. Indessen war dieß dennoch der Fall, wie die fernere Untersuchung lehren wird; allein die Menge desselben war im Verhältniß zu der des cetyloxydschwefelsauren Salzes nur sehr gering. Nimmt man darin auf 10 Atome dieses ein Atom jenes Salzes an, ein Verhältniß das der Wahrheit nicht sehr fern liegen möchte, so berechnet sich folgende procentische Zusammensetzung:

Kohlenstoff	53,53
Wasserstoff	9,20
Sauerstoff	2,21
Schwefelsäure	22,06
Kali	13,00
	100

Man sieht, daß diese Zahlen in Bezug auf die am leichtesten bestimmbaren Körper, das Kali und die Schwefelsäure, genauer mit den gefundenen stimmen, als die durch Rechnung nach der Formel des reinen cetyloxydschwefelsauren Kalis ermittelten, ohne daß die Kohlenstoff- und Wasserstoffmenge zu sehr differirte. In Betreff des Wasserstoffs will ich bei dieser Gelegenheit erwähnen, daß bei meinen Analysen der gefundene Wasserstoffgehalt oft nur einige Hundertel Procent geringer ist als die Rechnung verlangt. Es kommt dieß daher, daß beide Korke in dem Verbrennungsrohr während des Austrocknens des Kupferoxyds durch Glühen im Luftstrom stets ebenfalls vollkommen getrocknet werden, so daß sie keine Feuchtigkeit abgeben

können. Ist daher die Substanz nicht hygroskopisch, wie die fetten Säuren und wie auch das cetyloxydschwefelsaure Kali, so muß eine um ein Geringes zu kleine Menge sowohl von Wasserstoff als von Kohlenstoff gefunden werden, da der Kork, als poröse Substanz im Laufe der Analyse etwas Wasserdampf und Kohlensäure durch Diffusion austreten läßt.

Nachdem ich mich durch diese Versuche von der Reinheit des cetylschwefelsauren Kalis, so weit es aus einem Gemisch von Stethal und Aethal rein erhalten werden konnte, überzeugt hatte, schritt ich zur Darstellung des Cyancetyls. Bei einem Vorversuch mischte ich 34 Grm. des cetylschwefelsauren Salzes mit 10 Grm. durch Fällung einer Kalihydratlösung in absolutem Alkohol durch Blausäure gewonnenen Cyankaliums aufs Innigste und erhitze das Gemisch, welches in ein Kölbchen gebracht worden war, $1\frac{1}{2}$ Stunde bis auf 200° C. Ein Vorversuch hatte mich belehrt, daß cetyloxydschwefelsaures Kali, wenn es für sich erhitzt wird, zwar bei 200° C. zusammensintert, aber nur sehr unbedeutend zersetzt wird. Um die atmosphärische Luft möglichst abzuhalten, war das Kölbchen mit durchbohrtem Kork verstopft, welcher ein zweimal rechtwinklich gebogenes Rohr darauf befestigte, dessen anderes Ende in Quecksilber tauchte.

Die Mischung hatte sich dunkelbraun gefärbt und war zusammengeschmolzen. Sie war butterartig geworden. Als sie mit Aether gekocht und die braungefärbte Lösung filtrirt wurde, ging die Flüssigkeit nur sehr langsam durch das Filtrum. Da deshalb ein Auswaschen mit Aether unmöglich war, so wurde die auf dem Filtrum bleibende Masse, nachdem sie trocken geworden war, zuerst mit Alkohol befeuchtet, zerrieben und mit Wasser gemischt. Die Mischung wurde auf ein Filtrum gebracht und das in Wasser unlösliche mit diesem Lösungsmittel ausgewaschen. Das Wasser enthielt schwefelsaures Kali, Cyankalium, geringe Mengen kohlen-sauren Kalis und Spuren einer gelb gefärbten organischen Substanz, die in Alkohol löslich war. Was sich nicht in Wasser gelöst hatte, wurde mit Aether ge-

kocht und die filtrirte Lösung dem früher erhaltenen ätherischen Filtrat beigegeben.

Nachdem der Aether abdestillirt war, wurde die rückständige Masse in absolutem Alkohol gelöst. Dabei blieb eine schwarze, in Aether lösliche, stickstoffhaltige, schwer schmelzbare Masse ungelöst, die aus der ätherischen Lösung selbst durch absoluten Alkohol gefällt werden konnte, sich schwer verbrennen liefs, und wegen ihrer zu geringen Menge nicht näher untersucht werden konnte. Ihr beigemischt war noch eine kleine Menge cetyloxydschwefelsauren Kalis.

Die alkoholische Lösung setzte beim Erkalten eine Substanz in Krystallchen ab, die unter dem Mikroskop als äußerst zarte rhombische Blättchen mit einem Winkel von ungefähr 60° erschienen, und an denen der stumpfere Winkel abgerundet war. Der Schmelzpunkt dieses Körpers lag bei 53° bis $53^\circ,3$ und konnte durch Umkrystallisiren aus der Lösung in absolutem Alkohol nicht erhöht werden, während ein Zusatz von Knochenkohle bei dieser Operation den noch bräunlich gefärbten Körper vollkommen entfärbte. Stickstoff enthielt diese Substanz nicht. Ihre Eigenschaften deuten darauf hin, daß sie identisch mit dem Körper ist, welcher durch längere Einwirkung von concentrirter Schwefelsäure auf Aethyl bei der Temperatur des Wasserbades entsteht, eine Vermuthung, welche die Analyse vollkommen bestätigt hat. Diese ergab folgendes:

0,1976 Grm. dieses Körpers lieferten 0,5892 Grm. Kohlensäure und 0,2454 Grm. Wasser, entsprechend 0,16069 Grm. oder 81,32 Proc. Kohlenstoff und 0,02727 Grm. oder 13,80 Proc. Wasserstoff.

Vergleicht man diese Zahlen mit dem Mittel der früher gefundenen, so ist die vollkommene Uebereinstimmung ersichtlich

	gefunden	früher gefunden im Mittel
Kohlenstoff	81,32	81,40
Wasserstoff	13,80	13,84
Sauerstoff	4,88	4,76
	<hr/> 100	<hr/> 100,

Auch dieser Körper ist als ein Gemisch von Cetyläther mit Palmitylaldehyd zu betrachten.

Als die alkoholische Lösung, aus dem die oben beschriebene Substanz sich abgeschieden hatte, durch Destillation vom Alkohol befreit wurde, blieb eine bräunliche, flüssige, ölige Substanz zurück, die nur eine geringe Menge fester Substanz absetzte. Sie kochte erst über 300°C. , einer Temperatur, bei der eine Zersetzung unausbleiblich war. Die angestellten Versuche, das Cyancethyl rein zu erhalten, scheiterten.

Deshalb kochte ich diesen bei gewöhnlicher Temperatur dickflüssigen Körper anhaltend mit einer alkoholischen Kalilösung und verdunstete die Flüssigkeit endlich so weit, bis sich eine halb feste Masse bildete. Hierbei entwickelte sich reichlich Ammoniak. Die rückständige Salzmasse wurde mit kochender verdünnter Salzsäure zersetzt, die abgeschiedene fette Substanz in wenig Alkohol kochend gelöst und die ammoniakalisch gemachte Lösung durch Chlorbaryum gefällt. Der erhaltene mit Wasser gewaschene und gut getrocknete Niederschlag wurde mit kochendem Aether vollkommen extrahirt. Das so gereinigte Barytsalz wurde zur weiteren Untersuchung aufgehoben, zuerst aber die Aetherlösung abdestillirt und der Rückstand nochmals mit alkoholischer Kalilösung längere Zeit gekocht und eingedampft, und die ganze Salzmasse sofort mit Aether ausgekocht. Bei der Zersetzung des darin Unlöslichen durch verdünnte Salzsäure fand sich nur eine Spur einer fetten Säure. Der Rückstand bei nochmaligem Abdestilliren des Aethers war ölarartig und nur bei niedriger Temperatur fest. In Aether löste er sich und Alkohol schlug aus dieser Lösung einen festen Körper in geringer Menge nieder. Die davon abfiltrirte Flüssigkeit ward von Neuem abdestillirt und der Rückstand in absolutem Alkohol gelöst, der beim Erkalten wieder eine geringe Menge fester Substanz absetzte. Als die filtrirte Lösung mit etwas Wasser versetzt wurde, schied sich ein flüssiger Körper aus, und beim ferneren Mischen mit Wasser eine Substanz, die leicht schmelzbar war, aber

beim Erkalten gänzlich unkrystallinisch erstarrte, sich in Wasser nicht, wohl aber in Alkohol und besonders in Aether löste. Der Schmelzpunkt liefs sich nicht genau bestimmen, da die Substanz beim Erhitzen allmählich durchsichtig wurde. Jedenfalls lag er weit unter 40° C. Ein Stickstoffgehalt konnte darin nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden.

Obgleich diese Substanz keinesweges rein seyn konnte, so unterwarf ich sie doch der Analyse, um eine Vorstellung von ihrer Elementarzusammensetzung zu erhalten.

I. 0,1993 Grm. derselben lieferten 0,5981 Grm. Kohlensäure und 0,2492 Grm. Wasser, entsprechend 0,16312 Grm. oder 81,85 Proc. Kohlenstoff, und 0,02769 Grm. oder 13,89 Proc. Wasserstoff.

II. 0,1721 Grm. gaben 0,5159 Grm. Kohlensäure und 0,2155 Grm. Wasser. Diefs entspricht 0,1407 Grm. oder 81,75 Proc. Kohlenstoff und 0,02394 Grm. oder 13,91 Proc. Wasserstoff.

	I	II
Kohlenstoff	81,85	81,75
Wasserstoff	13,89	13,91
Sauerstoff	4,26	4,34
	<hr/> 100	<hr/> 100

Die Zusammensetzung dieser Substanz ist, wie man sieht sehr nahe gleich der des Körpers, der durch Einwirkung von concentrirter Schwefelsäure auf Aethyl im Wasserbade entsteht. Doch sind die Eigenschaften beider wesentlich abweichend.

Das oben erwähnte Barytsalz, aus dem die eben besprochenen Substanzen durch Aether ausgezogen worden waren, wurde durch Kochen mit verdünnter Salzsäure zersetzt. Die erhaltene fette Säure löste ich in einer möglichst geringen Menge verdünnten Alkohols kochend auf, fügte Ammoniak und eine Lösung von essigsaurer Magnesia hinzu. Der erhaltene Niederschlag wurde abfiltrirt, mit Wasser gewaschen und mit kochendem Aether wiederholentlich extrahirt, bis der Aether nichts mehr aufnahm. Beim Ver-

dunsten der ganzen Aethermasse blieb nur ein geringer fettähnlicher Rückstand.

Nach Zersetzung des Magnesiasalzes durch kochende verdünnte Salzsäure wurde eine bei $54^{\circ},8$ C. schmelzende Säure erhalten, deren Schmelzpunkt durch Umkrystallisiren auf $56^{\circ},5$, $57^{\circ},0$, $57^{\circ},9$, $58^{\circ},9$, $59^{\circ},9$ C. stieg. Dabei nahm sie in der krystallinischen Beschaffenheit zu, so daß die bei $59^{\circ},9$ C. schmelzende Säure nach dem Erstarren auf der Oberfläche schuppig krystallinisch erschien. Zur weiteren Untersuchung und auch zu einer Analyse* war die Quantität dieser Säure zu gering.

Deshalb schritt ich zu einer zweiten Darstellung derselben in etwas größerem Maassstabe und verwendete dazu 98 Grm. cetyloxydschwefelsauren Kalis und 35 Grm. reinen aus alkoholischer Kalilösung mittelst Blausäure erzeugten Cyankaliums. Da ich bei dem früheren Versuch aus den angewendeten 34 Grm. jenes Kalisalzes eine verhältnißmäßig nur sehr kleine Menge der Säure erhalten hatte, so rieb ich bei diesem die genannten beiden Körper aufs Innigste und Anhaltendste zusammen, nachdem ich sie mit absolutem Alkohol angefeuchtet hatte, um dadurch eine möglichst innige Mischung zu erzielen und Nebenzersetzungen möglichst zu vermeiden. Das Gemisch wurde in einen Kolben gebracht und mit denselben Vorsichtsmaassregeln, die ich schon oben beschrieben, mehrere Stunden lang bis 180 bis 200° C. erhitzt, dies Mal jedoch nicht in einem Oel, sondern in einem Luftbade.

Nach Vollendung dieser Operation wurde die Masse mit Aether, dann mit Alkohol ausgekocht. Der in beiden Lösungsmitteln nicht gelöste Rückstand enthielt neben schwefelsaurem Kali und Cyankalium nur eine geringe Menge organischer Substanz.

In der alkoholischen Lösung fand sich außer Cyankalium auch nur eine geringe Menge organischer Substanz, welche sich beim Eindampfen derselben in Form brauner Flocken absetzte.

Die ätherische Lösung ward durch Destillation vom

Aether befreit. Es blieb ein bedeutender, fettähnlicher Rückstand, der in wenig Aether heiss gelöst wurde. Beim Erkalten schied sich daraus ein fester Körper ab, dessen Menge noch durch Zusatz von absolutem Alkohol vermehrt wurde. Nach mehrmaligem Umkrystallisiren aus Aether mit Beihülfe von Thierkohle wurde er in grossen schönen farblosen blättrigen Krystallen erhalten, die bei 55°,1 C. schmolzen. Die Analysen dieser Substanz ergaben folgende Zahlen:

I. 0,2082 Grm. lieferten 0,6220 Grm. Kohlensäure und 0,2598 Grm. Wasser. entsprechend 0,16964 Grm. oder 81,48 Proc. Kohlenstoff und 0,02887 Grm. oder 13,87 Proc. Wasserstoff.

II. 0,2331 derselben Substanz gaben 0,6977 Grm. Kohlensäure und 0,2909 Grm. Wasser, entsprechend 0,19028 Grm. oder 81,63 Proc. Kohlenstoff und 0,03232 Grm. oder 13,87 Proc. Wasserstoff.

	I	II
Kohlenstoff	81,48	81,63
Wasserstoff	13,87	13,86
Sauerstoff	4,65	4,51
	<hr/> 100	<hr/> 100

Die Zusammensetzung dieses Körpers ist daher der ganz ähnlich, welche der bei dem ersten Versuche, Cyancetyl zu erhalten, gewonnene analoge Körper besafs. Er war ohne Zweifel ebenso wie die durch Einwirkung von Schwefelsäurehydrat auf Aether im Wasserbade erhaltene ähnliche Substanz ein Gemisch von Cetyläther mit Palmitylaldehyd.

Die alkoholisch-ätherische Lösung, aus der sich diese Substanz abgesetzt hatte, mufste namentlich das Cyancetyl enthalten. Sie wurde in einem Kolben mit einer alkoholischen Lösung von Kalihydrat so lange gekocht, als sich noch Ammoniak entwickelte, und bis die rückständige Masse fest geworden war. Das entwickelte Ammoniak war in verdünnter Salzsäure aufgefangen worden. Beim Abdampfen dieser Flüssigkeit schied sich daraus ein Tröpfchen einer

ölichen Substanz ab, von der noch ein zweites Tröpfchen erhalten wurde, als die Flüssigkeit im Wasserbade zur Trockne gebracht und der Rückstand in Wasser gelöst wurde. Die Menge dieses Körpers war viel zu gering, um ihn näher untersuchen zu können. Ich habe nur nachgewiesen, daß er keinen Stickstoff enthielt.

Die im Kolben rückständige Masse ward nun mit verdünnter Salzsäure gekocht, und die abgeschiedene fette Substanz mit kochendem Wasser und Ammoniak geschüttelt, worauf die trübe Flüssigkeit mit Chlorbaryum gefällt wurde. Der erhaltene Niederschlag wurde zuerst mit Wasser, dann mit Alkohol gewaschen, und endlich mit Aether vielfältig ausgekocht, bis dieser durchaus nichts mehr aufnahm. Dann schüttelte ich denselben mit alkoholfreiem Aether und Salzsäure, wodurch ich eine Lösung der Säure in Aether erhielt, von der der Aether abdestillirt wurde. Die rückständige Säure schmolz bei $56^{\circ},6\text{C.}$, war noch etwas gelblich gefärbt und erstarrte, nachdem sie geschmolzen war, mit schuppig und feinnadlig krystallinischer Oberfläche. Die Gesamtmenge dieser Säure betrug beinahe 20 Grm. Man sieht daraus, daß zwar ein bedeutender, aber doch nur der geringere Theil des cetyloxydschwefelsauren Kalis in die Säure übergeführt worden war. Denn 98 Grm. dieses Salzes hätten der Theorie nach ungefähr 73 Grm. der Säure liefern müssen.

Durch Umkrystallisiren aus Alkohol steigerte sich ihr Schmelzpunkt zuerst auf $57^{\circ},6\text{C.}$ Als sie dann noch einmal aus einer bedeutenden Menge Alkohol umkrystallisirt wurde, schien sich der Schmelzpunkt nicht zu ändern; er lag nun genau bei $57^{\circ},4\text{C.}$ Das Ansehen der nach der Schmelzung erstarrenden Säure war nach der ersten und zweiten Krystallisation dasselbe. Sie erschien in beiden Fällen schuppig krystallinisch. Ich glaubte daher den Versuch machen zu dürfen, ob der Schmelzpunkt auch bei der partiellen Fällung mittelst essigsaurer Magnesia constant bleiben würde. Allein es zeigte sich, daß dies nicht der Fall war. Die aus dem niedergeschlagenen Magnesiasalze

abgeschiedene Säure schmolz bei $56^{\circ},0\text{ C.}$, die aus der Flüssigkeit wiedergewonnene bei $58^{\circ},6\text{ C.}$ Jene erstarrte undeutlich nadlig und schuppig krystallinisch, diese schön blumig krystallinisch.

Zuerst suchte ich nun, nachdem ich die gesammten Säureportionen wieder gemischt hatte, durch sehr häufig wiederholte Krystallisation aus Alkohol eine reine Säure zu gewinnen. Ich erhielt dadurch nach einander Säuren von folgenden Schmelzpunkten $56^{\circ},7$, $56^{\circ},7$, $58^{\circ},6$, $59^{\circ},4$, $63^{\circ},2$, $65^{\circ},2$ und $65^{\circ},7\text{ C.}$ Nach der ersten und zweiten Krystallisation erschien die erstarrte Säure fast ganz unkrySTALLINISCH, nach den späteren wurde sie immer krystallinischer, ohne jedoch vollkommen das schuppische Ansehen einer reinen festen fetten Säure anzunehmen. Die Menge der bei der letzten Umkrystallisation abgeschiedenen Säure war zu gering geworden, als dafs damit weitere Versuche hätten angestellt werden können. Sie wurde daher den alkoholischen Lösungen beigegeben und diese nun der partiellen Fällung mit essigsaurer Magnesia unterworfen.

Hierbei habe ich mich einer abgeänderten Methode bedient, die mir aus zwei Gründen vortheilhaft zu seyn scheint. Dieselbe besteht darin, dafs ich nicht die Lösung der freien fetten Säure partiell fällte, sondern die des neutralen Natronsalzes. Einmal hat man dadurch den Vorthail, dafs sich keinenfalls auch nur eine Spur des Aethers der fetten Säure bilden kann, und dann scheint mir gerade dieser Versuch zu lehren, dafs bei Anwendung des Natronsalzes durch die partielle Fällung vollkommener die Trennung der in einem Gemisch enthaltenen Säuren gelingt.

Zur Darstellung des Natronsalzes der fetten Säuren kochte ich sie mit Alkohol und überschüssigem kohlen-sauren Natron, filtrirte ab, und fällte nun das Filtrat mehrmals mittelst einer alkoholischen Lösung von 0,8 bis 1,0 Grm. essigsaurer Magnesia. Es wurden hinter einander sechs Säureportionen erhalten, deren Schmelzpunkte in der Reihe, in der sie abgeschieden wurden, folgende waren 1) $57^{\circ},7$, 2) $57^{\circ},2$, 3) $58^{\circ},8$, 4) $59^{\circ},2$, 5) $59^{\circ},4$

6) $58^{\circ},2$ C. Die Portion 1) war ganz unkrystallinisch, 2) dagegen schon deutlich fein nadlig schuppig, 3) noch vollkommener krystallinisch, 4, 5, 6) endlich sämtlich sehr schön blumig, schuppig krystallinisch. Die letzteren drei Portionen hatten auch die Eigenschaft gemeinschaftlich, wenn sie auf Wasser geschmolzen und wieder erstarrt waren, bei vollkommenem Erkalten so stark krystallinisch zu werden, daß sie in sich zerklüfteten und eine bröckelige Masse bildeten.

Um nun zu untersuchen, welche Säureportionen mit einander zur Umkrystallisation gemischt werden durften, vermischte ich ein Minimum von je zwei der nach einander präcipitirten Säuren und bestimmte den Schmelzpunkt der Mischungen. Die Mischung von I und II, deren Schmelzpunkt bei $57^{\circ},6$ und $57^{\circ},2$ lag, schmolz bei $56^{\circ},6$ C., also niedriger als jede der einzelnen Säuren, während die anderen Mischungen sämtlich Schmelzpunkte besaßen, die in der Mitte lagen zwischen denen der einzelnen Säureportionen selbst. Beim Umkrystallisiren der zweiten und der dritten Säureportion sank der Schmelzpunkt dort von $57^{\circ},2$ auf $56^{\circ},8$, hier von $58^{\circ},8$ auf $58^{\circ},6$. Beide waren also zur Darstellung reiner Säuren nicht geeignet. Dagegen stieg der Schmelzpunkt der vierten Portion beim ersten Umkrystallisiren sofort und zwar von $59^{\circ},2$ auf $59^{\circ},6$ C. Diese wurde mit der fünften und sechsten, denen sie in jeder Beziehung ähnlich erschien, gemischt und umkrystallisirt.

Es war daher die zuerst gefällte und die Mischung der vierten, fünften und sechsten Säureportion, besonders zu untersuchen.

Die erste Portion besaß noch einen zu niedrigen Schmelzpunkt, um der Hoffnung Raum zu geben, daraus durch Umkrystallisiren eine reine Säure zu erhalten. Ich fällte sie daher noch einmal partiell mit Hülfe eines Viertels ihres Gewichts an essigsaurer Magnesia. Die aus dem Niederschlag gewonnene Säure schmolz bei $59^{\circ},1$ C., die aus der Flüssigkeit abgeschiedene bei $57^{\circ},1$ C. Beide er-

schiienen stark schuppig krystallinisch, doch jene in bedeutend geringerem Grade als diese. Die bei $59^{\circ},1$ C. schmelzende Säure wurde viermal aus Alkohol umkrystallisirt. Dabei stieg der Schmelzpunkt auf $61^{\circ},6$, $64^{\circ},0$, $65^{\circ},4$, $66^{\circ},2$ C. Nach den ersten Krystallisationen erschien die geschmolzene und wieder erstarrte Säure ganz unkrystallinisch, und erst nach der letzten begann wieder schuppige Krystallisation einzutreten.

Leider war die Masse der bei $66^{\circ},2$ C. schmelzenden Säure durch alle diese Versuche so gering geworden, daß ich weitere Reinigungsversuche aufgeben mußte. Kaum genügte dieselbe zu einer Analyse, die ich jedoch ausführte, um den Beweis zu liefern, daß diese Säure einen größeren Kohlenstoffgehalt besitzt, als die Stearinsäure. Sie ergab folgendes:

0,1398 Grm. derselben lieferten 0,3910 Grm. Kohlen- säure und 0,1599 Grm. Wasser, entsprechend 0,10668 Grm. oder 76,28 Proc. Kohlenstoff und 0,01777 Grm. oder 12,71 Proc. Wasserstoff.

Aus der Analyse folgt, daß in der That die gefundene Kohlenstoffmenge die der Stearinsäure übersteigt. Folgende Zusammenstellung zeigt, daß die Zusammensetzung der analysirten Säure der einer 38 Atome Kohlenstoff enthaltenden Säure der Fettsäurereihe am nächsten kommt.

	gefunden	berechnet nach der Formel $C^{38}H^{38}O^4$	berechnet nach der Formel $C^{38}H^{38}O^4$
Kohlenstoff	76,28	76,06	76,51
Wasserstoff	12,71	12,68	12,75
Sauerstoff	11,01	11,26	10,74
	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>

So wenig ich daher auch bezweifle, daß der wesentlichste Bestandtheil der analysirten Säure dieser Formel gemäß zusammengesetzt war, so wage ich es doch nicht dieser neuen Säure schon jetzt einen Namen zu geben, einmal weil ich sie noch nicht im reinen Zustande erhalten habe, und dann, weil ihre Zusammensetzung nur durch die

einzigste Analyse einer verhältnißmäfsig nur geringen Menge Substanz ermittelt worden ist.

Will man die Entstehungsweise dieser Säure verstehen, so überlege man, dafs das der Arbeit zur Basis dienende Aethal ein Gemisch von Aethal und Stethal war, dafs daher das daraus erzeugte Silbersalz ein Gemisch von cetyl- und stetalylschwefelsaurem Kali, die Cyanverbindung ein Gemisch von Cyancetyl mit Cyanstethatyl seyn mufste, welches letztere unter dem zersetzenden Einflufs des Kalihydrates nothwendig in eine Säure von der Formel $C^{36}H^{72}O^4$ übergehen mufste. Der Umstand, dafs ich bei dieser Untersuchung eine kohlenstoffreichere Säure als die Stearinsäure fand, bestätigt daher vollkommen meine hier und da wohl bezweifelte Angabe, dafs in dem rohen Aethal noch andere Alkoholarten als der eigentliche Cetylalkohol vorhanden sind, dafs sich namentlich der 36 Atome Kohlenstoff enthaltende Stearylalkohol (Stethal, Stethalyl-oxvdhydrat) darin findet.

Die Mischung der drei letzten Säureportionen wurde, nun durch Umkrystallisiren aus Alkohol gereinigt. Nach der ersten Krystallisation hatte die Säure einen Schmelzpunkt von $59^{\circ},6\text{ C.}$, und erstarrte sehr schön schuppig und blumig krystallinisch; nach der zweiten war er auf $59^{\circ},9\text{ C.}$ gestiegen und veränderte sich durch fernere Wiederholung dieser Operation nicht mehr. Die so gewonnene Säure war schneeweifs und erstarrte durchaus nicht mit nädlicher Krystallisation, wie dies die Margarinsäure nach Chevreul ¹⁾ thun soll, sondern so schuppig krystallinisch, wie die reine Stearinsäure und Palmitinsäure.

Um mich zu überzeugen, dafs die bei $59^{\circ},9\text{ C.}$ schmelzende Säure chemisch rein sey, hatte ich sie schon mehrmals aus Alkohol umkrystallisirt, ohne aber ihre physikalischen Eigenschaften, namentlich ihren Schmelzpunkt verändern zu können. Jetzt unterwarf ich sie der partiellen Fällung mittelst essigsaurer Magnesia. Beide Säureportio-

1) *Chevreul, Recherches chimiques sur les corps gras Paris 1823, p. 61.*

nen, sowohl die aus dem Niederschlag, als die aus der Flüssigkeit wieder gewonnene, waren von der dieser Operation unterworfenen Säure in keiner Weise zu unterscheiden. Namentlich lag der Schmelzpunkt derselben bei $59^{\circ},9$ C., wie der der ursprünglichen Säure.

Nachdem so die vollkommene Reinheit dieser Säure dargethan war, unterwarf ich sie der Analyse. Diese ergab folgende Zahlen:

I. 0,190 Grm. der Säure lieferten 0,5256 Grm. Kohlensäure und 0,2138 Grm. Wasser, entsprechend 0,14335 Grm. oder 75,45 Proc. Kohlenstoff und 0,02376 Grm. oder 12,51 Proc. Wasserstoff.

II. 0,2595 Grm. derselben gaben 0,7188 Grm. Kohlensäure und 0,2937 Grm. Wasser. Diefs entspricht 0,19604 Grm. oder 75,55 Proc. Kohlenstoff und 0,03263 Grm. oder 12,57 Proc. Wasserstoff.

Die Resultate dieser Analyse führen zu folgender Zusammensetzung:

	I	II	berechn.	
Kohlenstoff	75,45	75,55	75,56	34 C
Wasserstoff	12,51	12,57	12,59	34 H
Sauerstoff	12,04	11,88	11,85	4 O
	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100.</u>	

Die Analysen dieser Säure sind mit der äußersten Sorgfalt ausgeführt worden, und der Verlauf der Arbeit war vollkommen fehlerlos. Sie allein beweisen schon, daß dieselbe in der That die wahre Margarinsäure, d. h. die Säure von der Zusammensetzung $C^{34} H^{34} O^4$ ist. Allein die derselben in der Zusammensetzung nahestehenden Säuren der Fettsäurereihe weichen im Kohlenstoffgehalt nur um einige Zehntel, im Wasserstoffgehalt nur um einige Hundertel ab. Deshalb war eine fernere Controle dieser Analysen nothwendig, und zu dem Ende habe ich das Natronsalz der Säure ganz nach der Methode vollkommen rein und im neutralen Zustande dargestellt, welche ich ¹⁾ in meinen früheren Arbeiten über die fetten Säuren bei Darstellung

1) Diese Annalen Bd. 87, S. 560.

der palmitinsäuren und stearinsäuren Salze beschrieben habe, um daraus das Baryt- und Silbersalz derselben zu erzeugen.

Das gewonnene Natronsalz wurde in durch Destillation besonders gereinigtem Alkohol gelöst, die Lösung in zwei Theile getheilt, und der eine Theil durch salpetersaures Silberoxyd der andere durch salpetersaure Baryterde gefällt. Die Niederschläge, welche beide schneeweiss waren, wurden filtrirt und mit destillirtem Wasser ausgewaschen. Dabei färbte sich der Silberniederschlag schwach grau, weil das Auswaschen nicht ganz bei Abschlufs des Lichtes geschehen konnte. Nach dem Trocknen erschien derselbe aber beinahe ganz weifs.

Die gewonnene margarinsäure Baryterde war ein weisses, unkrystallinisches Pulver, das ganz dem stearinsäuren Baryte glich. Bei der Analyse derselben erhielt ich folgende Resultate:

I. 0,2323 Grm. lieferten 0,4994 Grm. Kohlensäure, 0,2048 Grm. Wasser und im Schiffchen blieben 0,0670 Grm. kohlensaure Baryterde. Rechnet man die darin enthaltene (0,01496 Grm.) Kohlensäure der direct gewogenen Menge hinzu, so findet man durch Rechnung, dafs in 0,2323 Grm. des Salzes enthalten sind: 0,14028 Grm. Kohlenstoff, 0,02276 Grm. Wasserstoff und 0,05204 Grm. Baryterde, oder in Procenten 60,39 Kohlenstoff, 9,80 Wasserstoff und 22,40 Baryterde.

II. Durch blofses Glühen im Tiegel wurden aus 0,2425 Grm. des Salzes 0,0703 Grm. kohlensaure Baryterde, entsprechend 22,52 Proc. Baryterde erhalten.

Hieraus folgt folgende Zusammensetzung:

	I.	II.	berechnet.	
Kohlenstoff	60,39	—	60,44	34 C
Wasserstoff	9,80	—	9,78	33 H
Sauerstoff	7,41	—	7,11	3 O
Baryterde	22,40	22,52	22,67	1 Ba O
	<u>100.</u>		<u>100.</u>	

Das margarinsäure Silberoxyd, welches dem entsprechenden stearinsäuren Salze vollkommen ähnlich war, na-

mentlich ebenfalls vollkommen unkrystallinisch und ziemlich locker erschien, gab bei der Analyse folgende Resultate.

I. 0,2518 Grm. gaben 0,4955 Grm. Kohlensäure, entsprechend 0,13514 Grm. Kohlenstoff, 0,1981 Grm. Wasser, entsprechend 0,02201 Grm. Wasserstoff und im Schiffchen blieben 0,0719 Grm. Silber. Hiernach enthält das Salz in 100 Theilen 53,67 Theile Kohlenstoff, 8,74 Theile Wasserstoff und 28,55 Theile Silber.

II. 0,3355 Grm. desselben hinterließen beim Glühen im Tiegel 0,0961 Grm. Silber. Diefs entspricht 28,65 Proc.

Aus den Resultaten der Analysen folgt folgende Zusammensetzung:

	I.	II.	berechnet.	
Kohlenstoff	53,67	—	54,11	34 C
Wasserstoff	8,74	—	8,75	33 H
Sauerstoff	9,03	—	8,49	4 O
Silber	28,55	28,64	28,65	1 Ag
	<u>100.</u>		<u>100.</u>	

Aus dieser Zusammenstellung folgt, daß die untersuchte Säure, deren vollkommene Reinheit und Ungemischtheit durch vorhergehende Versuche nachgewiesen war, in der That die 34 Atome Kohlenstoff enthaltende Säure der Fettsäurereihe ist. Ich nenne sie Margarinsäure, weil einem Gemisch von Palmitinsäure und Stearinsäure, das man für eine reine Substanz hielt und dessen Zusammensetzung man durch die Formel $C^{34}H^{34}O^4$ ausgedrückt hat, dieser Name beigelegt worden ist, und man sich daher gewöhnt hat, mit demselben diese chemische Formel zu verbinden.

Auffallend ist, daß diese Säure abweicht von dem Gesetz, daß der Schmelzpunkt der festen fetten Säuren um so höher liegt, je größer ihr Kohlenstoffgehalt ist, wenn auch nicht in dem Grade, in welchem dies Becker beobachtet haben wollte, und ein sonderbarer Zufall, daß ihr Schmelzpunkt genau derselbe ist, wie der, welchen man früher der Margarinsäure, die doch ein Gemisch von Stearinsäure und Palmitinsäure war, zuschrieb. Ich gebe den

der reinen Margarinsäure zu $59^{\circ},9$ C. an, während Chevreul ihn für jene Mischung gleich 60° C. festsetzt. Ich muß jedoch bemerken, daß bei meinen Schmelzpunktsbestimmungen nicht auf die zu geringe Ausdehnung des Quecksilberfadens in dem Theil des Capillarrohrs des Thermometers Rücksicht genommen worden ist, welcher sich außerhalb des erwärmten Wassers befand. Meine sämtlichen Bestimmungen sind daher um etwa 3 bis 4 Zehntel-Grade zu niedrig. Es scheint mir aber mehr als wahrscheinlich, daß auch Chevreul hierauf nicht Rücksicht genommen hat.

Daß die von mir untersuchte Säure nicht auch nur ein Gemisch zweier Säuren ist, sondern eine reine Substanz folgt mit Entschiedenheit aus den Versuchen, dieselbe durch Umkrystallisiren sowohl als durch partielle Fällung in zwei Säureportionen von verschiedenen Eigenschaften zu zerlegen. Es wäre zudem auffallend, daß noch ein anderes Säuregemisch, als das, welches man früher für Margarinsäure gehalten hatte, sowohl für sich analysirt, als bei der Analyse der Salze dieselben Zahlen liefern sollte, wie die Formel der Margarinsäure verlangt.

Um noch einen andern Unterschied zwischen dieser Säure und der früher sogenannten Margarinsäure aufzufinden, habe ich versucht, wie sich die Mischungen dieser Säure mit der Stearinsäure in verschiedenen Verhältnissen verhalten. Ich habe dabei, correspondirend ihrem abweichenden Schmelzpunkte, Abweichungen gefunden von der Regel, welche ich in Betreff derselben für die Glieder der Fettsäure aufgestellt habe, deren Kohlenstoffatomanzahl durch 4 theilbar ist.

Die Resultate dieser Versuche sind in folgender Tafel zusammengestellt.

Ein Gemisch von

Stearinsäure	Margarinsäure	schmilzt bei	und erstarrt
0 Theilen und 100 Theilen		59°, 9 C.	schuppig krystallinisch
10 " " 90 "		59 ,5	schuppig krystallinisch
20 " " 80 "		59 ,8	schuppig krystallinisch nur et- was weniger ausgezeichnet
30 " " 70 "		60 ,8	wie vorige Mischung
40 " " 60 "		61 ,2	do.
50 " " 50 "		62 ,0	wie vorige Mischung, doch nimmt der durch die schup- pige Krystallisation bedingte Perlmutterglanz zu
60 " " 40 "		63 ,1	wie vorige Mischung
70 " " 30 "		64 ,7	do.
80 " " 20 "		66 ,2	do.
90 " " 10 "		67 ,6	wie reine Margarinsäure
100 " " 0 "		69 ,2	schuppig krystallinisch

Um zu sehen, wie sich diese Säure in ihren Mischungen mit einigen anderen festen fetten Säuren verhält, habe ich auch die mit der Palmitinsäure und Myristinsäure dargestellt und ihren Schmelzpunkt bestimmt. Die gefundenen Resultate sind in den folgenden Tabellen enthalten.

Ein Gemisch von

Palmitinsäure	Margarinsäure	schmilzt bei	und erstarrt
0 Theile und 100 Theile		59°, 9 C.	schuppig krystallinisch
10 " " 90 "		58 ,7	ganz wie reine Margarinsäure
20 " " 80 "		57 ,6	schuppig krystallinisch, etwas mehr blumig
30 " " 70 "		56 ,9	wie vorige Mischung
40 " " 60 "		56 ,5	wie vorige Mischung
50 " " 50 "		56 ,0	do.
60 " " 40 "		56 ,0	do.
70 " " 30 "		57 ,0	sehr schön blumig fast langua- delig
80 " " 20 "		58 ,6	} in schönen langen Nadeln ganz so wie die früher Margarinsäure genannte Mischung von Stearinsäure u. Palmitinsäure
90 " " 10 "		60 ,2	
100 " " 0 "		62	schuppig krystallinisch

Ein Gemisch von

Myristinsäure	Margarinsäure	schmilzt bei	und erstarrt
0 Theile und 100 Theile		59°, 9 C.	schuppig krystallinisch
10 " " 90 "		57 ,5	nicht sehr deutlich schuppig kry- stallinisch

Ein Gemisch von				schmilzt bei	und erstarrt
Myristinsäure		Margarinsäure			
20 Theile	und	80 Theile		55°, 5 C.	undeutlich krystallinisch nicht schuppig oder perlmutterglänzend.
30	„	70	„	53, 5	fast ganz unkrystallinisch, mit ziemlich ebener Oberfläche
40	„	60	„	50, 5	vollkommen unkrystallin., opak
50	„	50	„	46, 2	wie die vorige Mischung
60	„	40	„	45, 6	etwas körnig krystallinisch
70	„	30	„	44, 7	wie Voriges, die Körner stellenweise gröfser, aber unregelmäßiger
80	„	20	„	48, 8	wie Voriges, opak, Körnchen sehr undeutlich
90	„	10	„	51, 8	opak, in concentrisch gruppirten, kaum kenntlichen Nadeln krystallinisch
100	„	0	„	53, 8	schuppig krystallinisch

Diese Schmelzpunktsbestimmungen, so wie die Untersuchung der Oberfläche der erstarrten Mischungen lehren, dafs die reine Margarinsäure sich ganz anders gegen Stearinsäure verhält, als die Mischung der Stearinsäure und Palmitinsäure, welche man früher mit dem Namen Margarinsäure belegt hat. Während der Schmelzpunkt jener, wenn sie mit Stearinsäure gemischt wird, höchstens auf 69°, 5 C. sinkt, so giebt es nach Gottlieb ¹⁾ eine Mischung dieser mit Stearinsäure, welche bei 56° C. flüssig wird. Letztere Mischungen unterscheiden sich in der Art, wie sie erstarren, sehr bedeutend von den reinen Säuren, die die Mischung bilden, erstere dagegen kaum merklich.

Es ist sehr merkwürdig, dafs die Mischungen der Margarinsäure mit den verschiedenen festen fetten Säuren sich so ganz verschieden verhalten, während diese letzteren unter einander gemischt, einem bestimmten Gesetz folgen. Die niedrigst schmelzende Mischung der Margarinsäure mit der Stearinsäure hat nur einen um 0°, 4 C. niedrigeren Schmelzpunkt, als die Margarinsäure selbst, während die niedrigst schmelzende Mischung derselben mit der Palmitinsäure bei einer, um 6° C. und mit der Myristinsäure bei einer um

1) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. 57, S. 37*.

9°, 1 C. niedrigeren Temperatur flüssig wird, als die leichtest schmelzende Säure des Gemischs im reinen Zustande.

Auch die Art der Erstarrung ist ganz verschieden. Die Mischungen der Margarinsäure mit der Stearinsäure erstarren fast genau wie die reinen Säuren selbst, die mit der Palmitinsäure zum Theil zwar ebenfalls gleich ihnen; es giebt aber auch Mischungen dieser Säuren, die wie die Margarinsäure benannte Mischung von Stearinsäure mit Palmitinsäure in deutlichen langen Nadeln erstarren. Endlich die Mischungen derselben mit der Myristinsäure sind meist alle opak und unkrystallinisch, oder wenn sie krystallinisch sind, so bilden sich in der erstarrenden Mischung kleine körnige Anhäufungen, welche wahrscheinlich aus concentrisch gruppirten Nadeln bestehen.

Schliesslich sey es mir gestattet, kurz die Resultate der vorliegenden Arbeit zu recapituliren.

1. Durch Einwirkung von Chlorwasserstoff auf Aethyl kann Cyancetyl nicht erzeugt werden, selbst dann nicht, wenn dieser Körper im Entstehungsmomente darauf einwirkt.

2. Bei der Einwirkung von concentrirter Schwefelsäure auf ein im Wasserbade erhitztes Gemisch von Aethyl mit stark überschüssigem Kochsalz bildet sich ein fester Körper, der ein Gemisch von Cetyläther mit Palmitylaldehyd zu seyn scheint.

3. Chlorcetyl wird weder durch Cyankalium, noch durch Cyanquecksilber oder Cyansilber so reichlich zersetzt, dass dadurch Cyancetyl mit Vortheil dargestellt werden könnte. Selbst bei Erhitzung eines Gemisches des letzteren mit Chlorcetyl in einem Papinischen Topfe wird nach mehreren Tagen nur eine kleine Menge Cyancetyl gebildet.

4. Bei der Einwirkung des Kalihydrates auf Cyancetyl entsteht neben Ammoniak keine nachweisbare Menge Methylamin oder einer anderen flüchtigen Alkoholbase.

5. Durch längere Einwirkung der concentrirten Schwefelsäure auf Aethyl entsteht, mag freier Luftzutritt statt-

finden oder derselbe gehemmt seyn, unter Entwicklung einer geringen Menge schwefliger Säure ein fester zwischen 50° und 55° C. schmelzender Körper, der ein Gemisch von Cetyläther mit Palmitylaldehyd zu seyn scheint.

6. Bei Darstellung des cetylschwefelsauren Kalis ist es, um eine möglichst große Ausbeute zu erhalten, erforderlich, die Mischung des Aethals und der Schwefelsäure bei möglichst niedriger Temperatur, also bei dem Schmelzpunkte des ersteren zu bewerkstelligen, dann baldigst die Mischung in Alkohol zu lösen und mit Kalihydrat zu sättigen.

7. Obgleich es bis jetzt nicht möglich ist, Cyancetyl im reinen Zustande zu gewinnen, so erzeugt sich doch eine bedeutende Menge desselben, wenn man cetyloxydschwefelsaures Kali mit reinem, namentlich Kali-freiem Cyankalium mit Hülfe von Alkohol *aufs Innigste* zusammenreibt und das Gemisch, nachdem es unter der Luftpumpe wieder vollkommen getrocknet ist, in einem Kolben bei Abschlusß der Luft auf 180° bis 200° C. erhitzt. Auch hier bildet sich als Nebenproduct etwas von dem bei 50° bis 55° C. schmelzenden Körper, der wahrscheinlich ein Gemisch von Cetyläther und Palmitylaldehyd ist.

8. Das Cyancetyl ist ein flüssiger Körper. Es wird durch Kalihydrat in Ammoniak und das Kalisalz einer fetten Säure verwandelt.

9. Die aus dem unreinen Cyancetyl in dieser Weise gewonnene Säure ist ein Gemisch von Margarinsäure ($C^{34}H^{34}O^4$) mit einer kohlenstoffreicheren Säure, als die Stearinsäure, deren Zusammensetzung mit der Formel $C^{38}H^{38}O^4$ übereinzukommen scheint.

10. Die Margarinsäure schmilzt bei $59^{\circ},9$ C. hat ganz die übrigen physikalischen Eigenschaften der Stearin- und Palmitinsäure, und weicht auch in den chemischen nicht wesentlich davon ab.

11. Zwar giebt es Mischungen der Margarinsäure mit Stearinsäure, deren Schmelzpunkt niedriger ist, als der der ersteren, allein nicht in dem Grade wie bei Mischungen

von Stearinsäure und Palmitinsäure. Auch sind diese Gemische in der Art wie sie erstarren nicht so von einander verschieden, wie die der Stearinsäure und Palmitinsäure. Sie erscheinen sämmtlich mehr oder weniger schuppig krystallinisch und perlmutterglänzend.

VII. Ueber die niedrigen Oxydationsstufen des Tantals; von H. Rose.

Ein wesentlicher Unterschied der Tantalsäure von den Säuren des Niobs besteht darin, daß erstere durch Zink nicht zu einer blauen niedrigeren Oxydationsstufe reducirt werden kann. Wenn man ein tantalsaures Alkali durch Chlorwasserstoffsäure zersetzt, und dann metallisches Zink hinzufügt, so bekommt man, auch wenn man sehr concentrirte Lösungen angewandt hat, nicht eine blaue Lösung; auch färbt sich die gefällte Säure nicht blau. Auch selbst wenn man Schwefelsäure hinzufügt, so entsteht noch keine blaue Färbung, oder nur höchst undeutliche Anzeigen davon. Ich zeigte aber, daß man die blaue Farbe beim Tantal sehr schön auf die Weise erzeugen kann, daß man Tantalchlorid in concentrirter Schwefelsäure löst und darauf etwas Wasser und etwas Zink hinzufügt¹⁾. Auch wenn Tantalchlorid in Chlorwasserstoffsäure gelöst, und die Lösung mit wenig Wasser verdünnt wird, so entsteht die blaue Farbe; sie entsteht aber nicht beim Zusatz von vielem Wasser und kann dann selbst durch einen Zusatz von Schwefelsäure wenigstens nicht recht deutlich hervorgebracht werden.

Man erhält auch die blaue Oxydationsstufe des Tantals, wenn man Tantalsäure in saurem schwefelsaurem Ammoniak zu einem klaren Syrup aufgelöst, denselben in wenig

1) Pogg. Ann. Bd. 69, S. 134.

Poggendorff's Annal. Bd. CII.

Wasser gelöst, und dann metallisches Zink hinzugefügt hat. Besser stellt man sie her, wenn man statt etwas Wasser Chlorwasserstoffsäure hinzugefügt hat. Die blaue Farbe des Tantals wird niemals braun wie beim Niob, aber wenn sie allmählich verschwindet, so geht sie aus dem Blauen ins reine Roth über, und wird dann erst weifs, was bei dem Niob nie der Fall ist.

Vor dem Löthrohr in Flüssen kann die Tantsäure nicht durch lange Behandlung in der inneren Flamme oder durch Zusatz von Reductionsmitteln in die blaue Modification übergeführt werden. Ich habe aber schon oben bemerkt, dafs wenn Tantalfluorkalium, aber nicht Tantalfluornatrium in einem Platinlöffel geschmolzt wird, es sich bläut¹⁾.

Es zeichnet sich eine Gruppe von metallischen Säuren dadurch aus, dafs sie durch reducirende Mittel blaue Verbindungen erzeugen. Zu diesen mufs man ohne Zweifel auch die Tantsäure rechnen, doch ist sie offenbar von allen diesen metallischen Säuren diejenige, welche diese Eigenschaft im geringsten Grade besitzt, und sie macht den Uebergang zu denen, bei denen wir diese Erscheinung nicht hervorzubringen im Stande sind, wie bei der Zinnsäure (Zinnoxid).

Es ist indessen sehr wahrscheinlich, dafs es nach den Untersuchungen von Berzelius eine niedrigere Oxydationsstufe des Tantals von einer bestimmten Zusammensetzung giebt, die er schon 1815 in Gemeinschaft mit Gahn und Eggertz durch Reduction der Tantsäure in einem Kohlentiegel dargestellt hat²⁾. Er hielt sie Anfangs für metallisches Tantal. Als er aber später bei seiner Untersuchung über die Fluorwasserstoffsäure und deren wichtigsten Verbindungen das metallische Tantal aus dem Kaliumtantalfuorid mittelst Kalium bereitete, erwähnt er des früher dargestellten Productes gar nicht³⁾, gedenkt

1) Pogg. Ann. Bd. 99, S. 489.

2) *Afhandling. i Fysik, Kemi och Mineralogi* Bd. 5, S. 253; Schweigger's Journ. Bd. 16, S. 438.

3) Pogg. Ann. Bd. 4, S. 10.

seiner erst in den späteren Auflagen seines Lehrbuchs und hält es für Tantaloxyd oder für tantalichte Säure.

Berzelius setzte bei der Bereitung dieses Oxyds die Tantalsäure in einem Kohlentiegel der Einwirkung des Gebläses während einer Stunde aus. Die Säure hatte sich dadurch in einen dunkelgrauen Körper verwandelt, der mit einem harten Messer gestrichen, Metallglanz annahm, der sich besonders zeigte, wenn er auf einem feinen Wetzstein geschliffen wurde. Er hatte dann das Ansehen des Eisens. Dabei zeigte sich beim Anfeuchten und während des Schleifens ein Geruch nach Wasserstoffgas, dem ähnlich, wie ihn das angefeuchtete Manganmetall ausstößt und welcher von einem Hinterhalte von Mangan herrührte, das sich bei der Analyse des Tantalits nicht völlig abscheiden liefs. — Der reducirte Körper konnte zu Pulver gerieben werden, das nicht den geringsten Metallglanz hatte und dunkelbräunlich war. Die kleinsten Theile waren so hart, daß sie das Glas ritzen. — Das Pulver wurde weder von Chlorwasserstoffsäure, noch von Salpetersäure, noch von Königswasser, auch nicht von einer Mischung von Fluorwasserstoffsäure und Salpetersäure angegriffen, auch wenn man diese Säuren im concentrirtesten Zustande anwandte. Sie zogen nur schwache Spuren von Eisen und besonders von Mangan aus, die entweder von der Kohle herrührten, oder, was am glaublichsten war, von der Tantalsäure.

Wurde der Körper bis zur völligen Rothgluth erhitzt, so fing er Feuer, hörte aber zu glimmen auf, wenn er erkaltet wurde. Er wurde dabei grauweiß; Berzelius konnte es nicht dahin bringen, daß ein aus der weißesten Tantalsäure dargestellter Körper nach dem Verbrennen eine weißse Säure gab; die Farbe zog sich immer ins Graue, wobei die Gewichtsvermehrung immer variirte und um so geringer ausfiel, je grauer die Säure wurde. — Wurde die Substanz in Pulverform, mit Salpeter gemengt, in einen glühenden Tiegel geworfen, so detonirte sie, wiewohl nicht sonderlich lebhaft. Die Masse war schneeweiß. Auch

mit Kalihydrat geschmolzen, wurde sie oxydirt und mit Alkali verbunden.

In vier Versuchen verloren 100 Theile Tantalsäure durch die Reduction im Kohlentiegel 5,10; 5,10; 5,2 und 5,32 Proc., also im Mittel 5,2 Proc. Durchs Glühen beim Zutritt der Luft nahmen durch die Oxydation 100 Theile der reducirten Verbindung nur 3,5; 4 bis 4,22 Theile Sauerstoff auf, weil durchs Glühen die Oxydation nicht ganz vollständig bewirkt werden konnte.

Die Tantalsäure hatte sich bei diesen Versuchen von Berzelius offenbar in eine niedrigere Oxydationsstufe des Tantals verwandelt. Nimmt man an, dafs 100 Theile Tantalsäure durch die Behandlung im Kohlentiegel 5,2 Proc. Sauerstoff verloren hatten, so mußte die desoxydirte Säure noch 13,66 Theile Sauerstoff enthalten. Diefs ist etwas weniger als dreimal so viel als der Gewichtsverlust der bei der Desoxydation statt gefunden hat. Die desoxydirte Tantalsäure bestand im Hundert aus:

Tantal	85,59
Sauerstoff	14,41
	<hr/> 100,00

Eine Verbindung von 2 Atomen Tantal und 3 Atomen Sauerstoff würde aber im Hundert zusammengesetzt seyn aus:

Tantal	85,15
Sauerstoff	14,85
	<hr/> 100,00.

Es ist also wahrscheinlich, dafs durch die Reduction im Kohlentiegel die Tantalsäure zu einem Oxyde von der Zusammensetzung $2\text{Ta} + 3\text{O}$ desoxydirt worden ist.

Diese Ansicht wird durch die Annahme noch wahrscheinlicher, dafs die Tantalsäure von Berzelius noch Zinnoxid enthalten habe, wodurch überhaupt wegen der Reduction derselben zu Metall die graue Farbe des reducirten Products entstanden sey, und die wohl mit die Veranlassung zu der anfänglichen Annahme von Berzelius gewesen ist, die desoxydirte Tantalsäure für Tantalmetall

zu halten. Ich werde später zu zeigen suchen, daß Berzelius durch die Methode der Zersetzung der Tantalite, die er anwandte, das Zinnoxid nicht vollständig von der Tantalsäure zu scheiden im Stande war.

Denn wahrscheinlich ist wohl die Farbe der niedrigeren Oxydationsstufe des Tantals die weiße. Sie entspricht einer Oxydationsstufe des Niobs, die leicht darzustellen; und welche in den Verbindungen derselben, die sich in der Natur finden, enthalten ist. Diese ist aber vollkommen weiß. Aber diese Oxydationsstufe des Tantals würde sich wesentlich von der analogen des Niobs durch viele ihrer Eigenschaften unterscheiden. Denn diese oxydirt sich durchs Glühen an der Luft nicht zu der höchsten Oxydationsstufe des Niobs, während dies bei dem niedrigeren Oxyde des Tantals der Fall ist. Die Tantalsäure kann ferner nicht durch die Reductionsmittel in die niedrigere Oxydationsstufe verwandelt werden, durch welche es leicht möglich ist; das höchste Oxyd des Niobs in das weniger Sauerstoff enthaltende zu verwandeln.

VIII. *Ueber zwei ausgezeichnete Beispiele der Schmelzpunkterniedrigung; von F. G. Schaffgotsch.*

Die bemerkenswerthe Erscheinung, daß zwei oder mehrere Körper zusammengeschmolzen einen niedrigeren Erstarrungspunkt besitzen, als jeder für sich, ist wohl zuerst an Metalllegierungen beobachtet, wenigstens mit dem Thermometer genauer untersucht worden. So ist namentlich das Rose'sche Metall und manche ähnliche Mischung aus Blei, Zinn und Wismuth oder auch aus Blei, Zinn und Zink häufig studirt worden, in neuerer Zeit hauptsächlich von Kupffer, Döbereiner, Rudberg, Svanberg,

Regnault und Erman. Eine solche Erniedrigung des Schmelzpunktes ist auch von Heintz bei Gelegenheit seiner Untersuchung der fetten Säuren an den mannigfaltigsten Mischungen dieser wahrgenommen worden. Diese Gemische und ihre Bestandtheile zeigen, wie es sich von selbst versteht, gleich jenen leichtflüssigen Metallgemischen Schmelzpunkte, die im Bereich des Quecksilberthermometers liegen und deshalb genauer bestimmt werden können. Nur in sehr beschränkter Weise gilt letzteres von einer dritten Klasse schmelzbarer Mischungen, nämlich von gemischten Salzen; denn weiß man auch, daß kohlensaure Erden mit den entsprechenden Chlor- oder Fluormetallen leicht zusammenschmelzen, wie Berthier und Döbereiner gefunden, oder daß schwefelsaures Kali mit schwefelsaurem Natron sowie kohlensaures Kali mit kohlensaurem Natron viel leichter schmilzt, als die einzelnen Salze, so liegen doch alle diese Schmelzpunkte hoch über dem Kochpunkt des Quecksilbers, sind also mit gewöhnlichen Thermometern nicht zu bestimmen.

Dagegen bieten die Verbindungen der Alkalien mit Essigsäure und Salpetersäure, vielleicht auch mit Ameisensäure, Bernsteinsäure und Chlorsäure oder die entsprechenden Schwefelcyanmetalle eine günstigere Gelegenheit dar.

An den essigsäuren und salpetersäuren Salzen habe ich selbst Beobachtungen angestellt und es sind die gewonnenen Zahlenresultate, welche ich hiemit veröffentliche. Zuvor einige Worte über das befolgte Verfahren. Entweder wurde erstens das Thermometer, ein hunderttheiliges und bei allen Versuchen dasselbe, dicht über dem flüssigen Salz schwebend angebracht und durch wiederholtes Eintauchen der Kugel auf einer dem bereits annähernd bekannten Schmelzpunkt möglichst nahen Temperatur erhalten, sodann nach Entfernung der Wärmequelle in das auf seiner ganzen Oberfläche erstarrende Salz rasch eingetaucht und beobachtet, oder es wurde zweitens die Thermometerkugel im flüssigen Salz ohne den Boden des Schmelz-

gefäßes zu berühren, schwebend erhalten, die Wärmequelle entfernt und im Augenblick, wo die Mitte der Salzoberfläche erstarrte, der Thermometerstand beobachtet oder es wurde endlich drittens an dem mit seiner Kugel im Salz schwebenden und weit über den Schmelzpunkt erhitzten Thermometer nach Entfernung der Wärmequelle die Zeitdauer der Erkaltung von Grad zu Grad beobachtet und der Grad, bei dem die größte Verzögerung des Erkaltens eintrat, als Erstarrungspunkt angenommen. Die zweite und dritte Verfahrungsweise, die übrigens gut übereinstimmende Resultate geben, sind bei Schmelzpunkten in der Nähe von 330° nicht mehr anwendbar, weil dann der Gang des Thermometers in Folge von Gasbildung in der Kugel unregelmäßig wird.

I. Essigsaures Kali und Natron.

43 Grm. Kalisalz in einem Porcellantiegel geschmolzen erstarrten nach dem ersten Verfahren beobachtet bei 292° und 34 Grm. essigsaures Natron, ebenso beobachtet, bei 319° . Da beide Salze sich im Schmelzen allmählich zersetzen, braun und kohlensäurehaltig werden, so war ich gegen die gefundenen Zahlen mißtrauisch, um so mehr, als ich den Schmelzpunkt des Natronsalzes *unter* dem des Kalisalzes erwartet hatte. Gleichwohl haben sich mir diese Schmelzpunkte bei Wiederholung der Versuche mit größeren Salzmenngen von anderer Bereitung unter bestmöglicher Abwehr jeder Zersetzung lediglich bestätigt.

Die Erniedrigung des Schmelzpunktes beider Salze durch ihre Vereinigung ist beträchtlich, denn nach dem Zusammenschmelzen derselben im Verhältniß ihrer Atomgewichte erstarrten 76 Grm. der Mischung, nach dem ersten Verfahren beobachtet, bei 224° , also 68° unter dem Erstarrungspunkte des Kalisalzes und 95° unter dem des Natronsalzes, welche Temperaturen übrigens nicht in Bezug auf das Hervorragen der Scale berichtigt sind.

Ich bemerke beiläufig, dafs beim Erstarren des Salzgemisches niemals jene eigenthümlichen Auswüchse wahrgenommen wurden, welche sich auf der Oberfläche der untermischten Salze zeigen und gewöhnlich für Krystalle gehalten werden.

II. Salpetersaures Kali und Natron.

Bei sämmtlichen Versuchen wurde das Salz oder Salzgemisch in der Menge von 80 bis 81 Grm. angewendet, zum Schmelzgefäfs ein und derselbe Platintiegel genommen, das Thermometer immer gleich weit, nämlich bis zum Grade — 11 eingetaucht und überhaupt die grösste Gleichmäfsigkeit im Verfahren beobachtet. Der Berichtigung der Temperaturen in Bezug auf das Hervorragende der Scale ist als Wärme des nicht mit eingetauchten Theiles der Quecksilbermasse nach ungefährrer Schätzung die Temperatur von 40° zu Grunde gelegt. Diese Berichtigung mufs ich selbst für ziemlich willkürlich erklären. Auch noch ein zweiter Umstand, nämlich die, wie es scheint, bei starker und anhaltender Erhitzung unvermeidliche Zerreißung oder Abtrennung des Quecksilberfadens im Thermometer, hat mich verhindert, meinen Beobachtungen die gewünschte Schärfe zu geben; doch wird das Hauptergebnifs durch beide Uebelstände nicht berührt.

Zum Messen der Abkühlungszeiten diente ein $\frac{4}{5}$ Sekunde schlagendes Pendel. Die Thermometerscale betrachtete ich durch eine Brücke'sche Lupe.

Reines salpetersaures Kali, nach dem ersten Verfahren beobachtet, erstarrte bei 323° roh oder $338^{\circ},3$ berichtigt und reines salpetersaures Natron, nach dem dritten Verfahren beobachtet, bei 300° roh oder $313^{\circ},1$ berichtigt. Alle von mir dargestellten Mischungen beider Salze waren leichter schmelzbar, als das leichtflüssigere von ihnen, nämlich das Natronsalz. Die Mischungen mit den beiden reinen Salzen zusammengestellt geben folgende Tafel:

				roher Erstar- rungspunkt.	ber. Erstar- rungspunkt.
Salpetersaures Natron				300°	313°,1
Mischung von 10 Proc. Kalisalz				286	297 ,7
„ „ 20 „ „				270 ,5	281
„ „ 30 „ „				253	262
„ „ 37,26 „ „				240	248
„ „ 37,29 „ „				240	248
„ „ 40 „ „				236	243 ,6
„ „ 41,1 „ „				234	241 ,6
„ „ 43,9 „ „				229	236 ,3
„ „ 50 „ „				222	228 ,8
„ „ 54,3 „ „				219	225 ,6
„ „ 60 „ „				223	229 ,8
„ „ 70 „ „				242	250 ,3
„ „ 70,4 „ „				243	251 ,3
„ „ 80 „ „				270	280 ,4
„ „ 90 „ „				298	311
Salpetersaures Kali				323	338 ,3.

Die Mischung von 37,26 Proc. Kalisalz ist von der nächstfolgenden nur um 0,03 Proc. verschieden und zeigt denselben Erstarrungspunkt.

Die Mischung von 37,29 Proc. Kalisalz besteht aus *einem* Atome salpetersaurem Kali und *zwei* Atomen salpetersaurem Natron.

Die Mischung von 41,1 Proc. Kalisalz enthält gleiche Mengen von Kalium und Natrium, die Mischung von 43,9 Proc. gleiche Mengen Kali und Natron.

Die Mischung von 54,3 Proc. Kalisalz besteht aus einem Atom von jedem Salze, so daß in jedem Salze gleich groß ist die Menge des Stickstoffs, die Menge der Salpetersäure und die des gesammten Sauerstoffs. Aus dieser Mischung sind durch wiederholten Zusatz von Natronsalz alle schon

erwähnten kaliärmeren Mischungen dargestellt worden mit Ausnahme der Mischung von 37,29 Proc. Kalisalz, welche unmittelbar aus den Bestandtheilen gebildet wurde und mit Ausnahme der Mischung von 40 Proc. Kalisalz, welche aus der letztgedachten durch Zusatz von Kalisalz entstand.

Alle Mischungen endlich, die mehr als 54,3 Proc. Kalisalz enthalten, sind unmittelbar aus Kalisalz und Natronsalz dargestellt, ausgenommen die Mischung von 70 Proc., welche aus der sogleich zu erwähnenden und salpetersaurem Natron zusammengeschmolzen wurde.

Die Mischung von 70,4 Proc. Kalisalz besteht aus *zwei* Atomen Kalisalz und *einem* Atom Natronsalz. Die Erkalnungszeiten waren in der Nähe des Erstarrungspunktes so auffallend kurz, daß ich nach einem zweiten tiefer liegenden Erstarrungspunkte suchte, den ich aber so wenig bei dieser als bei anderen Mischungen fand.

Der Schwerpunkt der ganzen Untersuchung fällt offenbar auf das gleichatomige Gemisch von 54,3 Proc. Kalisalz. Es ist das schmelzbarste von allen und erstarrt $87^{\circ},5$ tiefer als das reine salpetersaure Natron, $112^{\circ},7$ tiefer als das reine salpetersaure Kali. Wiederholter Zusatz von Kalisalz *oder* Natronsalz bringt eine *stetige* Erhöhung des Schmelzpunktes zuwege und so kommt es, daß die Mischung von 20 Proc. Kalisalz mit der von 80 Proc., sowie die von 50 Proc. mit der von 60 Proc. ziemlich gleichen Schmelzpunkt hat. Auch sieht man, daß eine Mischung von 90,7 Proc. Kalisalz ungefähr den Schmelzpunkt des reinen Natronsalzes haben wird.

Da die Mittheilung sämtlicher Thermometerablesungen, deren Zahl gegen achthundert beträgt, zu weitläufig wäre, so will ich beispielsweise hier zum Schluß nur die an zwei Salzmischungen beobachteten Erkalnungszeiten angeben.

A. Mischung von 70 Proc.Anfangshitze 300°. Zeiteinheit 0^{'''},8. Erstarrungspunkt 242°.

		245°					240°					235°	
		13	15	25	35	40	39	38	35	33	34	I	
		14	18	28	41	37	40	43	40	37	33	II	
		13	18	26	34	39	32	36	37	32	30	III	
10	11	14	19	25	35	35	37	37	31	32	31	IV	
10	12	14	18	27	35	37	35	34	31	32	27	V	

B. Mischung von 70,4 Proc.Anfangshitze 300°. Zeiteinheit 0^{'''},8. Erstarrungspunkt 243°.

		245°					240°					235°	
13	14	19	26	37	38	41	»	»	»	»	»	I	
14	14	19	24	33	40	33	35	36	30	26	28	II	
14	13	18	26	30	34	35	31	31	31	31	29	III	
13	15	18	25	38	37	39	33	31	32	27	23	IV	
15	16	19	30	38	36	39	40	34	25	28	29	V	

IX. Ueber die Gase des Blutes; von Lothar Meyer aus Varel a. d. Jahde.

(Aus Henle und Pfeufer's Zeitschrift für rationelle Medicin N. F. Bd. VIII. Heft 2, im Auszuge mitgetheilt vom Verfasser.)

1. **U**nsere Kenntniss der Gase des Blutes beruhte bisher wesentlich nur auf den ausgezeichneten Arbeiten von Magnus über diesen Gegenstand, deren Publication

sich in diesen Annalen (Bd. 40 und 66) findet. Die Resultate derselben werden theils betätigt, theils erweitert und vervollständigt durch eine Untersuchung, deren Publication in extenso zunächst dem medicinischen Publicum vorgelegt wurde, von der ich hier nur kurz die Resultate mittheilen will. Diese Arbeit wurde in Prof. Bunsen's Laboratorium in Heidelberg ausgeführt und daselbst im September 1856 abgeschlossen. Sie hatte zum Zweck, erstens die Quantitäten der im normalen, und zwar zunächst im arteriellen Blute vorhandenen Gase O, N, CO₂ zu bestimmen, und zweitens zu ermitteln, ob und in wie weit die Aufnahme und Ausgabe derselben dem Henry-Dalton'schen Absorptions-Gesetze folge.

2. Die Gewinnung der Gase aus dem Blute geschah nach der von Bunsen angegebenen Methode der Auskochung im luftleeren Raume¹⁾. Um das zu starke Schäumen und das Gerinnen des Blutes zu verhindern, wurde dasselbe mit seinem 10 bis 20 fachen Volumen luftfreien, destillirten Wassers versetzt und bei möglichst wenig erhöhter Temperatur unter Abkühlen der luftleeren Vorlage ausgekocht. Nachdem die freien Gase ausgetrieben, wurde die gebundene Kohlensäure durch krystallinisch eingebrachte Weinsäure abgeschieden und durch eine zweite Auskochung nach derselben Methode gewonnen. Das Nähere des Verfahrens, so wie einige geringe Modificationen, welche die Eigenthümlichkeit des Gegenstandes erforderte, sind in meiner vollständigen Publication angegeben.

3. Die eudiometrische Analyse der so gewonnenen Gase gab für die in 100 Volumen Blut enthaltenen Gas-mengen, gemessen bei 0° und 0^m,76, folgende Zahlen.

- 1) Siehe über dieselbe: Baümert, chemische Untersuchungen über die Respiration des Schlammpeizgers (*Cobitis fossilis*), Breslau, Nischkowsky, auch abgedruckt in den Annalen der Chemie und Pharmacie Bd. 88, S. 2.

Bunsen, Gasometrische Methoden, Braunschweig 1857 S. 17.

Datum 1856	Art des Blutes	freies Gas	O	N	freie CO ₂	gebund. CO ₂	gesammte CO ₂	gesamm- tes Gas
Jan. 17	<i>Arteria carotis Hund No. 2</i>	—	—	—	—	23,75	—	—
Febr. 12	» » » No. 1	20,88	12,43	2,83	5,62	28,61	34,23	49,49
» 19	» » » No. 2	—	(3,79)	(2,94)	—	—	(27,10)	(33,84)
» »	» » » »	28,24	18,42	4,55	5,28	20,97	26,25	49,21
» 28	» » » No. 1	25,50	14,29	5,04	6,17	28,58	34,75	54,08
	mit Luft bei 21 bis 22° C. und 0 ^m ,7464 Ba- rometerst. geschütteltes defibrinirtes Kalbs- blut	17,04	11,55	4,40	1,09	18,12	19,21	35,16
		—	(5,81)	(4,12)	—	—	(21,56)	(31,49)

Der mit No. 1 bezeichnete Hufd war 7,5 Kilogramm schwer und vollkommen ausgewachsen; No. 2, 9,5 Kilogramm schwer, etwa $\frac{3}{4}$ Jahr alt und kaum ausgewachsen.

Beide Thiere zeigen eine ziemlich erhebliche Verschiedenheit in der Zusammensetzung der Blutgase; das Blut des jüngeren enthält weniger gebundene CO_2 und weit mehr freien O. Bei einem und demselben Thiere ist die Zusammensetzung ziemlich constant.

4. Die eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf Versuche, bei denen die Weinsäurekrystalle gleich im Anfange zugesetzt, und nicht, wie bei den übrigen, das Blut erst für sich, dann mit Säure ausgekocht wurde. Diese Versuche geben dieselbe Quantität CO_2 und N, aber sehr viel weniger O. Die Säure bewirkt also, daß der größte Theil des Sauerstoffs nicht mehr durch Kochen aus dem Blute entfernt werden kann. Sie veranlaßt die Oxydation irgend eines Blutbestandtheils, die jedoch nicht bis zur CO_2 Bildung geht.

5. Zu Absorptionsversuchen mit Blut ist das Bunsen'sche Absorptiometer nicht anwendbar. Ich bediente mich daher eines sehr einfachen aus einem cylindrischen zur Aufnahme des Blutes bestimmten Gefäße und einem mit demselben beweglich verbundenen Manometer bestehenden Apparates, von dem ich a. a. O. eine Zeichnung gegeben habe. Derselbe dürfte auch für Absorptionsversuche mit anderen Substanzen brauchbar seyn, welche nicht mit Quecksilber in Berührung kommen dürfen. Zur Beurtheilung der mit demselben zu erreichenden Genauigkeit sind a. a. O. einige zu seiner Prüfung angestellte Versuche mitgetheilt.

Zu den Absorptionsversuchen diente defibrinirtes Blut, dem durch Auskochen im luftverdünnten Raume bei etwa 30°C . seine freien Gase entzogen worden.

6. Die Versuche zeigen, daß bei allen drei Gasen, CO , O, N die aufgenommene Quantität mit dem Drucke, unter dem das freie Gas mit dem Blute in Berührung

kommt, variirt, und zwar sind die Aenderungen dieser Quantität proportional der Zu- und Abnahme des Druckes.

Die absolute Menge des Sauerstoffs und der Kohlensäure, welche das Blut aus einer reinen Atmosphäre je eines dieser Gase aufnimmt, sind indeß nicht dem absoluten Drucke proportional, unter dem die Aufnahme stattfindet. Mit anderen Worten, diese Menge besteht (wie z. B. die des Chlors im Wasser)¹⁾ aus zwei Theilen, deren einer vom Drucke unabhängig ist, während der andere dem Henry - Dalton'schen Absorptionsgesetze gehorcht. — Das von dem Blut-Volumen h bei dem Drucke P und der Temperatur t aufgenommene Gasvolumen, gemessen bei der Einheit des Druckes und der Temperatur 0° , ist

$$A = kh + \alpha hP,$$

wo α den Absorptionscoefficienten und k eine andere, gleichfalls vom Drucke unabhängige Constante bezeichnet.

Beim Stickstoff dagegen scheint die ganze aufgenommene Menge dem Drucke proportional, die Aufnahme also ein reines Absorptionsphänomen zu seyn. Die aufgenommene Quantität ist indeß gering, sie beträgt nur einige (etwa 3 bis 4) Procente vom Volumen des Blutes. Da nun schon 1 Proc. in die Fehlergränze der Beobachtung fällt, so konnte der numerische Werth des Absorptionscoefficienten durch das eingehaltene Verfahren nicht mit hinreichender Genauigkeit ermittelt werden.

Auch für Sauerstoff ist der Coefficient α klein, so daß die eigentlich absorbirte, dem Drucke proportionale Menge auch dieses Gases nicht weit außerhalb der Fehlergränze der Beobachtung liegt. Der größte für α erhaltene Werth ist bei 18° C. , $\alpha = 0,04$ (Versuch 19 bis 30 a. a. O. S. 310).

Für Kohlensäure endlich ergab sich bei 12° C. der Absorptionscoefficient:

$$\alpha = 1,15 \text{ bezogen auf } 0^\circ \text{ C. } ^1)$$

$$\alpha = 1,20 \quad \text{„} \quad \text{„} \quad 12^\circ \text{ C.}$$

Derselbe ist wenig größer als der von Bunsen für rei-

1) Roscoe, Annalen der Chemie und Pharmacie Bd. 95.

nes Wasser bei 12° C. gefundene Coëfficient, 1,10 bezogen auf 0°.

7. Den Grund für die Aufnahme des vom Drucke unabhängigen, oben mit kh bezeichneten Theiles des Sauerstoffes und der Kohlensäure haben wir in einer von einem oder mehreren Bestandtheilen des Blutes auf diese Gase geübten Attraction, also in der Wirkung chemischer Kräfte zu suchen.

Beim Sauerstoff ist k weit gröfser als α , mithin ist die Aufnahme des Sauerstoffes ins Blut im Wesentlichen unabhängig vom Drucke des freien Gases. Die aufgenommene Quantität variirt dagegen mit anderen Ursachen; sie nimmt z. B. ab, wenn der Gehalt des Blutes an festen Bestandtheilen verringert wird. Eine Mischung von Wasser und Blut nimmt weniger Sauerstoff auf als ein gleiches Volumen Blut, und zwar, wie es scheint, im Verhältnisse ihrer Verdünnung. Die aufgenommene Menge scheint auch zu variiren mit der Zeit, welche das aus der Ader gelassene Blut mit der Luft in Berührung blieb, ehe ihm seine freien Gase entzogen wurden. Bei defibrinirtem Kalbblut, das noch warm mit der Luftpumpe in Verbindung gebracht worden, ergab sich für 18° C. (Versuch No. 19 bis 30)

$$k = 0,166$$

bezogen auf 0° und 0",76 als Einheit des Druckes. Andere Versuche ergaben einen kleineren Werth.

$$k = 0,09.$$

Die Vergleichung dieser Zahlen mit den durch Auskochung des arteriellen und des mit Luft geschüttelten Blutes erhaltenen zeigt, dafs die vom Drucke unabhängige Sauerstoffmenge keine wesentlich andere ist, mag das Blut mit reinem Sauerstoff, mit atmosphärischer oder mit der Lungenluft seinen Sauerstoffgehalt ausgeglichen haben. Durch die Gegenwart von N und CO₂ wird die auf den O

- 1) Vergleiche Bunsen's Definition des Absorptionscoëfficienten. Gasometrische Methoden S. 136 oder Annalen der Chemie und Pharmacie Bd. 93, S. 1.

geübte Anziehung nicht, oder wenigstens nicht erheblich geändert.

Man sieht wie wesentlich diese Eigenschaft des Blutes für den Organismus ist; ohne sie würde der Aufenthalt in verschiedenen zusammengesetzten Gasgemischen, in verschiedenen Höhen über dem Meere nicht ohne bedeutende Störungen der Lebensfunctionen möglich seyn. Diese Eigenschaft erklärt namentlich auch die Beobachtung von Regnault und Reiset, daß der Stoffwechsel durch das Athmen einer an Sauerstoff sehr reichen Atmosphäre nicht merklich beschleunigt wird.

8. Durch welchen Theil des Blutes die Anziehung geübt wird, und ob eine Verbindung in festen Atomverhältnissen also eine eigentlich und im engeren Sinne chemische Verbindung durch dieselbe hervorgebracht werde, habe ich zu untersuchen nicht unternommen. Jedenfalls aber ist die Verbindung eine sehr lockere. Wird der Druck des freien Sauerstoffes sehr gering oder ganz aufgehoben, so zerfällt sie; das Blut giebt unter der Luftpumpe seinen ganzen Sauerstoffgehalt ab. Zum Bestehen der Verbindung ist also die Gegenwart überschüssigen freien Sauerstoffes erforderlich. Analoga dieses Verhaltens sind nicht selten; eines der nahe liegendsten ist der Kohlensäureverlust des doppelt kohlensauren Natrons in kohlensäurefreier Luft.

Wird die alkalische Reaction des Blutes in eine saure verwandelt, so geht die lockere Verbindung in eine stabile über; der größte Theil des Sauerstoffes kann durch Aufheben des Druckes nicht mehr abgeschieden werden. Zugleich ändert das Blut seine Farbe. Es ergibt sich hieraus, daß die oxydirende Wirkung des Sauerstoffes nicht im Blute selbst, sondern wesentlich erst in den meistens sauer reagierenden Geweben, namentlich den Muskeln, stattfindet.

9. Das Verhalten des Blutes gegen CO_2 ist von dem gegen O wesentlich darin verschiedenen, daß aus einer Atmosphäre reiner CO_2 eine weit größere Menge dieses Gases unabhängig vom Drucke aufgenommen wird, als in

dem mit der Lungenluft in Berührung gewesenen Blute sich findet.

Defibrinirtes Kalbsblut, das an chemisch gebundener, nur durch Zusatz von Säuren auszutreibender CO_2 33,8 Volumenprocente, gemessen bei 0° und $0^m,76$, enthielt, nahm bei 12° C. aus einer Atmosphäre von reiner CO_2 auſser der eigentlich absorbirten Menge noch 63,0 Vol. Procente auf, so daſs die ganze vom Drucke unabhängige Quantität, gemessen bei 0° und $0^m,76$, jetzt dem Volumen des Blutes selbst gleich kam.

Eine solche Kohlensäuremenge ist, wie die angeführten Analysen zeigen, im arteriellen Blute bei weitem nicht vorhanden und kann daher auch im venösen Blute nicht vorkommen, da auch aus den ungünstigsten Annahmen über die Menge des in gegebener Zeit die Lungen passirenden Blutes und der ausgeathmeten Kohlensäure folgt, daſs das venöse Blut nur um wenige Volumen-Procente an Kohlensäure reicher ist, als das arterielle. Das im Körper circulirende Blut enthält also bei weitem nicht so viel gebundene Kohlensäure, als es in einer Atmosphäre reiner Kohlensäure zu binden vermag.

Es ist kaum eine andere Annahme möglich, als daſs in dieser doppeltkohlensaure Salze der Alkalien gebildet werden, und zwar zum Theil aus den einfach oder anderthalbfach kohlensauen, zum Theil aus den phosphorsauren Salzen der Alkalien, welche im Blute enthalten sind. Die Betheiligung der letzteren müssen wir annehmen, da die durch die Analyse gefundenen 33,8 Volumen-Procente gebundener CO_2 , selbst wenn sie auf einfaches Carbonat berechnet werden, nur die Aufnahme von weiteren 33,8 nicht aber von 63,0 Volum-Procenten erklären würden.

10. Präformirt sind doppelt kohlensaure Alkalien im kreisenden Blute, nach meinen Versuchen, deshalb nicht, oder nur in sehr geringer Menge, vorhanden anzunehmen, weil die Kohlensäure-Quantität, welche das Blut beim Auskochen im luftleeren Raume ohne Säurezusatz abgiebt, sehr gut der Menge entspricht, welche bei der Temperatur und dem Kohlensäuredruck der Lungenluft im eigentlichen Sinne

absorbirt werden muß, und zweitens, weil das Blut nach der rasch erfolgenden Abscheidung dieses Theiles auch während dreistündigen Kochens keine meßbare Menge CO_2 mehr abgibt, während NaO , 2CO_2 beim Kochen sehr rasch ein halbes Atom, dann aber fortwährend noch mehr CO_2 abgibt, und sich mehr und mehr in einfach saures Salz, NaO , CO_2 , verwandelt.

11. Die Abwesenheit des Bicarbonates im Blute ist um so auffälliger, als nach Absorptionsversuchen, die ich a. a. O. mitgetheilt habe, eine verdünnte Lösung von einfach kohlensaurem Natron auch aus einer nur wenig Kohlensäure enthaltenden Wasserstoff-Atmosphäre außer der eigentlich absorbirten noch so viel CO_2 aufnimmt, als zur Bildung von Bicarbonat erfordert wird ¹⁾). Diese Bildung hört erst auf, wenn der Kohlensäuregehalt des freien Gases bis auf etwa 1 Proc. gesunken ist.

12. Aus diesen Versuchen folgt aber, daß wenn Bicarbonat im Blute einmal gebildet wäre, dasselbe an der Lungenluft keine Zersetzung erleiden würde. Es ist also gewiß mit Unrecht diesem Salze eine für die Respiration wesentliche Function zugeschrieben worden.

Im Gegensatz zu den bisherigen Ansichten stellt sich durch meine Versuche heraus, daß der Austausch der Kohlensäure höchst wahrscheinlich als ein reines Absorptionsphänomen anzusehen ist, während bei der Sauerstoffaufnahme chemische Kräfte thätig sind.

1) Für luftfreie Lösungen, welche in Form von NaO , CO_2 in einem Volum enthielten

I	II	III
1,041	0,998	0,998 Vol. CO_2 gemessen bei 0° u. $0^\circ,76$
fand ich für $23^\circ,6 \text{ C.}$		
$k = 1,087$	0,957	0,981 " "
$\alpha = 0,818$	0,831	0,850 bezogen auf 0°

Die Zahlen der Columnne III sind aus Versuchen abgeleitet, die mit einem Gemisch von Kohlensäure und Wasserstoff angestellt wurden. *

Für reines Wasser fand Bunsen bei $22^\circ,4 \text{ C.}$ $\alpha = 0,864$. Der Coefficient wird also durch den Salzgehalt nur sehr wenig geändert.

X. *Mineralogische Notizen;*
mitgetheilt von Adolf Kenngott in Zürich.

1. *Ueber ein mit Dioptas vorkommendes Mineral.* —

Bei meiner Anwesenheit in Wien sah ich ein dem K. K. Rechnungs-Official Hrn. L. Kacvinski gehöriges Exemplar des bekannten Dioptas-Vorkommens aus der Kirgisensteppe, an welchem ich unter den aufgewachsenen Dioptaskrystallen einen grünen Krystall bemerkte, welcher nicht Dioptas ist. Dieser kleine Krystall von schöner smaragdgrüner Farbe und etwas über zwei Millimeter Höhe und Dicke ist orthorhombisch, und stellt, wie man aus der abgebildeten Projection auf die Basisfläche (Fig. 12, Taf. II) sieht, die Combination $\infty P \cdot \infty P \infty \cdot 0 P \cdot m P \infty \cdot P \infty$ dar. Messungen konnten nicht gemacht werden, weil der Krystall für das Anlegegoniometer zu klein war; doch liefs sich aus dem Ansehen entnehmen, dafs der stumpfe Winkel des Prismas ∞P unter 120° ist, der Endkantenwinkel des Längsdoma $P \infty$ einem rechten Winkel nahe steht, der des Querdoma stumpfer ist. Die smaragdgrüne Farbe unterscheidet sich merklich von der der Dioptase, indem sie einen Stich ins Gelbe zeigt. Der Glanz ist starker Glasglanz, der Krystall halbdurchsichtig. Die Flächen ∞P sind schwach vertical gestreift, die eine mehr freistehende Fläche $m P \infty$ zeigt eine auffallend convexe Bildung, ist aber glatt und glänzend, und die eine ihr anliegende Fläche $P \infty$ zeigt eine schwache Streifung parallel der Combinationskante mit ihr. Es dürfte möglich seyn, an anderen Exemplaren des Dioptas dergleichen Krystalle aufzufinden, das Aussehen erinnert etwas an Euchroit.

2. *Ueber eine Pseudomorphose des Wernerit.* — Ein über 11 Centimeter langer und fast 4 Centimeter dicker Krystall der Skapolith genannten Abänderung des Wernerit von Christiansand in Norwegen, welcher in eine

schmutzig gelblichweisse matte undurchsichtige Mineralsubstanz verändert ist, zeigt eine eigenthümliche Gestaltveränderung, welche von einer gänzlichen Erweichung der Krystallsubstanz, einer erfolgten Zerbrechung, theilweisen Umbiegung und Verschiebung und nachheriger Erhärtung Zeugniß giebt. Eine Skizze davon zeigt im verkleinerten Maassstabe die Abbildung Fig. 13, Taf. II. Die Enden sind zerbrochen, die verticale Zone zeigt $\infty P. \infty P \infty$. Die bei der Umbiegung sich emporstauenden Wülste sind mit Rissen versehen. Im Innern ist der Krystall stenglich-körnig geworden, die Oberfläche ist größtentheils mit einer weislichen Kruste bedeckt, welche auf der Aussenseite krystallinisch-blumigstrahlige fest aufliegende Gebilde zeigt, Reste der erfolgten Ausscheidung, welche krystallinisch fest wurden. Das Stück von seltener Schönheit ist im Besitze des K. K. Hof-Mineralien-Kabinetes in Wien und wurde im Jahre 1828 acquirirt.

3. *Ueber Calcit, eingeschlossen in Calcit.* — An die früher von mir beschriebenen Calcitkrystalle mit einem Krystallkorn derselben Species, jedoch in abweichender Gestalt, reiht sich ein Exemplar von *Derbyshire in England*, im Besitz des K. K. Hof-Mineralien-Kabinetes in Wien. Krystalle von gelblichgrauer Farbe stellen die Combination $R3.2R'.\infty R$ dar, wie die Fig. 14, Taf. II angiebt (s, r, p). Die Scленоöderflächen sind eben und bei den meisten Krystallen am glänzendsten, eine schwache Streifung parallel den Seitenkantenlinien bemerkbar. Die Rhomboöderflächen sind weniger glänzend und ein Wenig convex, dabei zeigt sich, was auch die Figur ausdrücken soll, eine schwache federförmige Streifung, deren Mittellinie durch eine schwarze Furche gebildet wird, welche nach den End-Ecken zu an Breite und Tiefe zunimmt. Die Streifen sind schwach gebogen, was im Zusammenhange mit der Convexität der Flächen stehen mag. Die Prismenflächen sind auch wenig glänzend und etwas convex wie die Rhomboöderflächen. Im Innern der beinahe ganz durchsichtigen Krystalle bemerkt man als Kern ein Scленоöder, dem An-

sehen nach jedenfalls $R3$, mit weißer Oberfläche, welche das Licht nur spärlich durchläßt, weshalb die Kerne fast undurchsichtig erscheinen. Die klare Masse des den Kern umhüllenden Krystalls läßt unter mäßiger Vergrößerung pulverulente Kiestheilchen (Chalkopyrit, wie man an anderen Krystallen aus Derbyshire häufig findet) verstreut erblicken, welche sich in der Richtung der schwarzen Furchen ansammelten und dort durch ihre Menge die Trennung der Flächenhälften bewirkten. Die Anwesenheit des Kiesel während des weiteren Absatzes der Calcitmasse nach der Bildung der scalenoëdrischen Kerne war wahrscheinlich auch die Ursache der äußeren Gestalt.

4. *Aehnlicher Einschluss des Calcits in Calcit.* — Zwei Exemplare von Nagyag in Siebenbürgen, im Besitze desselben Kabinetts, zeigen aufgewachsene weiße durchscheinende Calcitkrystalle, welche vorherrschend das Scalenoëder $R3$ darstellen, untergeordnet erscheinen die Prismenflächen ∞R und die Rhomboëderflächen $\frac{1}{2}R'$. Aus einzelnen Krystallen sieht man an den Enden die Enden eingeschlossener Krystalle hervorragen, welche durchsichtig und blaß graulich sind. An ihnen ist das Prisma vorherrschend, die andern beiden Gestalten sind untergeordnet. Nach der Bildung der inneren Krystalle änderte sich die Flüssigkeit, aus welcher sich ferner Calcit absetzte, wie die Aenderung der Farbe und metallisches Kupfer zeigt, welches analog den oft vorkommenden Kieskryställchen in Gestalt kleiner stark glänzender Körnchen durch die äußere Calcitmasse vertheilt und so als Einschluss erscheint. Die rothe Farbe des Kupfers giebt im Gemisch mit der weißen des Calcits eine eigene helle gelbliche Färbung, die nichts weniger als Kupfer vermuthen lassen würde. Die Krystalle sitzen auf fast dichtem graugelbem Calcit; begleitende Minerale sind sonst nicht sichtbar.

5. *Sideritkrystalle als Einschluss in Calcitkrystallen.* — Hr. H. v. Rosthorn in Wien war so freundlich, mir im vergangenen Jahre ein von ihm selbst gefundenes Handstück des Dolerits von Dollendorf im Siebengebirge am

Rhein zur Ansicht mitzutheilen, woran dicht gedrängte fest verwachsene stumpfe Rhomboëder des Siderits, zum Theil halbkuglig gruppirt, als Bekleidung eines Hohlraumes zu sehen sind. Auf dem gelbbraunen Siderit sitzen einzelne graulich weißse Calcitkrystalle, stumpfe Rhomboëder $\frac{1}{2}R'$ von ungefähr 15 Millimeter Breite im horizontalen Hauptschnitt. Einige derselben sind angebrochen und zeigen im Innern eine Einschachtelung gleichgestalteter Calcitkrystalle in der Art, daß die zuerst gebildeten Krystalle nicht direct durch neue Calcitmasse bedeckt wurden, sondern daß um sie eine etwas entfernt stehende Krystallschale gebildet wurde und so fort, mithin hohle Räume dazwischen liegen, welche mit locker angehäuften, unregelmäßig angeordneten braunen Sideritkryställchen R erfüllt sind. Obgleich Siderit und Calcit in der Krystallisation so nahe verwandt sind, und man erwartet hätte, wie Beobachtungen bei direct eingeleiteten Untersuchungen über homologe Ablagerung gezeigt haben, daß der Siderit sich auf den zuerst gebildeten Calcitkrystallen in regelmäßiger Lage abgesetzt haben würde, wurden die Calcitkrystalle mit Sideritkryställchen unregelmäßig besetzt, neue Calcitmasse dagegen setzte sich conform mit den erst gebildeten Krystallen ab und so entstand die Calcithülle trotz der unregelmäßigen Unterlage mit regelrechter äußerer Bildung. Auf diese setzte sich wieder Siderit ab, dann folgte eine neue Calcitablagerung und so fort, wodurch man an den zerbrochenen Calcitkrystallen bis vier conforme Schichten um einen Kern sieht, dazwischen die unvollständig erfüllten Hohlräume.

6. *Calcit*, eingeschlossen in *Calcit*. — Ein sehr nettes Beispiel unterbrochener Bildung und dadurch hervorgehender wiederholter Einschachtelung zeigt krystallisirter Calcit aus *Staffordshire* in *England*, im Besitze des K. K. Hof-Mineralien-Kabinetts in *Wien*.

Die Krystalle sind auf krystallisirtem und krystallinisch körnigem Fluorit aufgewachsen, grau, durchscheinend bis fast durchsichtig. Die Form derselben ist das spitze Rhom-

boëder $4R'$, an dessen Endecken man eine sehr untergeordnete neunflächige Zuspitzung erkennen kann, welche durch ein wenig spitzes Scalenöeder und ein dergleichen Rhomboëder gebildet wird. Beim Hindurchsehen durch den Krystall bemerkt man einen dunklen Krystallkern, welcher auf ein Scalenöeder in gleicher Stellung mit $4R'$ hinweist, jedoch ein weniger spitzes, wie man aus der Divergenz der Kantenlinien ersehen kann. Das Scalenöeder hat seine dunkel erscheinende Farbe einer Bedeckung der Oberfläche zu verdanken, gebildet von einem grünlich schwarzen Minerale, welches stellenweise krystallinische büschlige Parthien darstellt. Diese sind mitunter sehr deutlich und die dunkle pulverulente aufliegende Masse ist mehr in der Richtung der stumpfen oder der beiderlei Endkanten des Scalenöeders concentrirt, während die anderen Theile freiblieben. Die gesammte außerhalb des Kernes liegende Masse zeigt vier sich scharf abgränzende Umbüllungen und die vorherrschende Gestalt, welche nach der Kernbildung eintrat, ist die spitz-rhomboëdrische; die combinirte Scalenöederform trat allmählich zurück und jede Pause in der Vergrößerung des Krystalls wird durch einen pulverulenten Niederschlag auf der jeweilig vorhandenen Krystallgestalt bezeichnet, die aber im Vergleich zum ersten sehr schwach sind. Die letzte derselben war reichlicher und ist von weißer Farbe. So sichtlich auch hierdurch die in der Weiterbildung eintretenden Pausen bezeichnet sind, so zeigen doch die Spaltungsflächen keine Unterbrechung, was für die Feinheit der pulverulenten Theilchen spricht, weil sie den kleinsten Calcittheilchen kein Hinderniß boten.

XI. Ueber neue Verbindungen des Siliciums; von H. Buff und F. Wöhler.

(Mitgetheilt von d. HH. Verf. aus d. Göttinger Nachrichten, Oct. 1857.)

1. **Siliciumwasserstoffgas.** Diese Verbindung, merkwürdig durch die Eigenschaft sich an der Luft von selbst zu entzünden, entsteht, wenn ein starker elektrischer Strom durch siliciumhaltiges Aluminium als positiven Pol in eine Lösung von Chlornatrium geleitet wird. Ihre quantitative Zusammensetzung ist noch unausgemittelt, da es bis jetzt noch nicht gelang, sie rein und frei von beigemengtem Wasserstoffgas zu erhalten. Nur so viel scheint festzustehen, daß der mit dem Silicium verbundene Wasserstoff eine Verdichtung erlitten hat. Ihre Bildung und der paradoxe Umstand, daß in diesem Falle an beiden Polen nur Wasserstoffgas auftritt, beruht darauf, daß sich an dem positiven Pole gleichzeitig Chloraluminium und Thonerde bilden, welche letztere mit ersterem zu einem basischen Salz verbunden aufgelöst bleibt. Siliciumhaltiges Aluminium als negativen Pol angewandt, bildet kein Siliciumwasserstoffgas. Dagegen entsteht es, wiewohl stets mit so viel freiem Wasserstoffgas gemengt, daß es nicht mehr selbstentzündlich ist, bei der Auflösung von siliciumhaltigem Aluminium in Chlorwasserstoffsäure. — Mit Luft in Berührung gebracht, entzündet sich das Siliciumwasserstoffgas sogleich von selbst und verbrennt mit weißer Flamme unter Bildung eines Rauchs von weißer Kieselsäure. Eine kalte Fläche gegen die Flamme gehalten, belegt sich mit braunem amorphem Silicium. Wird das Gas durch ein glühendes Glasrohr geleitet, so wird es zersetzt, indem sich die Wände des Glases mit braunem Silicium belegen. Mit Chlorgas detonirt es so heftig wie mit Sauerstoffgas.

2. **Siliciumchlorür - Chlorwasserstoff,** $\text{Si}^2 \text{Cl}^3 + 2\text{HCl}$, entsteht, wenn Silicium noch nicht bis zum sichtbaren Glühen in einen Strom von getrocknetem Chlorwasserstoffgas

erhitzt wird. Das hierbei frei werdende Wasserstoffgas nimmt kein Silicium auf. Die Verbindung ist ein farbloses, leicht bewegliches, an der Luft stark rauchendes Liquidum von 42° Siedepunkt und 1,5 specifischem Gewicht. Mit Wasser zersetzt es sich augenblicklich in Chlorwasserstoff und weißes Siliciumoxyd. Sein Dampf ist so entzündlich wie Aetherdampf und verbrennt, mit Sauerstoffgas vermischt und durch den elektrischen Funken entzündet, mit heftiger Explosion unter Bildung von Kieselsäure, Siliciumchlorid und Chlorwasserstoff. Dampfförmig durch ein glühendes Rohr geleitet, wird es zersetzt in amorphes Silicium, Siliciumchlorid und Chlorwasserstoff. Ueberschmelzendes Aluminium geleitet, entbindet es freies Wasserstoffgas.

3. *Siliciumbromür - Bromwasserstoff*, $\text{Si}^2\text{Br}^3 + 2\text{HBr}$, entsteht auf dieselbe Weise wie das Chlorür. Es ist eine diesem sehr ähnliche, stark rauchende, mit Wasser sich zersetzende Flüssigkeit.

4. *Siliciumjodür - Jodwasserstoff*, $\text{Si}^2\text{I}^3 + 2\text{HI}$, ist ein dunkelrother, krystallinischer, fester Körper, leicht schmelzbar und flüchtig. An der Luft raucht es, wird zuerst zinnoberroth, zuletzt schneeweiß; in Wasser zersetzt es sich auf dieselbe Weiss, jedoch langsamer als die andern Verbindungen. Aus Schwefelkohlenstoff, worin es mit blutrother Farbe in Menge löslich ist, kann es krystallisirt erhalten werden.

5. *Siliciumoxyd-Hydrat*, $\text{Si}^2\text{O}^3 + 2\text{HO}$. Es entsteht bei der Zersetzung der vorübergehenden Verbindungen mit Wasser. Man erhält es in Menge als Nebenproduct bei der Bereitung des Chlorürs, indem man das aus dem unter 0° abgekühlten Condensationsgefäß fortgehende mit Chlorür gesättigte Wasserstoffgas und überschüssige Salzsäuregas in Wasser leitet, welches stark abgekühlt erhalten wird. Es ist ein schneeweißer, amorpher Körper, im Ansehen wesentlich verschieden von der aus Verbindungen abgeschiedenen Kieselsäure. Es ist sehr leicht und schwimmt auf Wasser. In Aether sinkt es unter. Von

Alkalien, sowohl kaustischen als kohlensauren, selbst von Ammoniak, wird es unter schäumender Wasserstoffgas-Entwicklung zu kieselsaurem Alkali aufgelöst. Säuren, selbst concentrirte Salpetersäure, sind ohne Wirkung darauf; nur von Flußsäure wird es unter lebhafter Wasserstoff-Entwicklung aufgelöst. Es kann bis 300° ohne Veränderung erhitzt werden, aber darüber entzündet es sich und verglimmt lebhaft und mit phosphorescirendem Licht, indem sich zugleich Wasserstoffgas entwickelt, das sich mit Explosion entzündet. In Sauerstoffgas erhitzt, verbrennt es mit glänzender Feuererscheinung. In einem bedeckten Tiegel erhitzt, hinterläßt es nicht weißse, sondern durch amorphes Silicium braun gefärbte Kieselsäure. Durch Versuche wurde bewiesen, daß es beim Erhitzen ohne Luftzutritt oder in Wasserstoffgas in der That Siliciumwasserstoffgas entwickelt, aber erst bei einer Temperatur, bei welcher der größte Theil dieses letzteren wieder in Wasserstoffgas und braunes Silicium zersetzt wird.

Das Siliciumoxydhydrat ist in Wasser etwas löslich. Diese Lösung befindet sich aber in fortwährender Zersetzung unter Entwicklung von Wasserstoffgas. Frisch bereitet wirkt sie kräftig reducirend; aus Goldchlorid z. B. reducirt sie sogleich metallisches Gold, aus Palladiumchlorür schwarzes Palladium, aus seleniger Säure rothes Selen, aus telluriger Säure graues Tellur. Mit salpetersaurem Silber übergossen wird das Oxyd sogleich hellbraun; mischt man Ammoniak hinzu, so wird es in schwarzes kieselsaures Silberoxyd verwandelt.

Nachdem die Verfasser in der Abhandlung die Analysen, aus denen die obige Formel abgeleitet wurde, im Einzelnen beschrieben haben, heben sie hervor, daß bei den meisten Analysen der Siliciumgehalt um mehr als $\frac{1}{2}$ Proc. zu hoch gefunden worden sey, während die möglichen Fehlerquellen ihn eher zu niedrig geben müßten, ja daß sie Arten von Oxyd analysirt haben, deren Siliciumgehalt um mehr als 2 Proc. höher gefunden wurde, als der obigen Formel entpricht, welche die wahre Zusammensetzung aus-

drücken muß, da sie mit der des Chlors, aus welchem das Oxyd entsteht, übereinstimmend ist. Diese Oxyde seyen auch auffallend dadurch charakterisirt gewesen, daß sie lebhafter verbrannten, und zwar mit rother Flamme, und daß sie dabei selbst bei vollem Luftzutritt keine weiße, sondern eine durch unverbranntes Silicium mehr oder weniger braungefärbte Kieselsäure hinterließen, so daß sie bei der Analyse zuvor durch Ammoniak in Kieselsäure verwandelt werden mußten. Aus diesen und anderen in der Abhandlung angegebenen Umständen halten es die Verfasser für höchst wahrscheinlich, daß es ein an Silicium noch reicheres Oxyd und folglich auch ein diesem entsprechendes niedrigeres Chlorür geben müsse, welches unter gewissen Umständen entstehe und dem anderen häufig beigemischt sey. Alle ihre Bemühungen, hierüber positive Gewißheit zu erlangen und Producte von constanter und mit wahrscheinlichen Formeln stimmender Zusammensetzung zu erhalten, waren bis jetzt fruchtlos. Indessen werden die Verfasser, sobald sie wieder im Besitz von Silicium sind, diese Untersuchungen fortsetzen, um so mehr, als sie hoffen, dadurch die immer noch nicht entschiedene Frage, ob die Kieselsäure SiO^3 oder SiO^2 sey, zur Entscheidung zu bringen. Hier sey nur noch vorläufig erwähnt, daß sie Arten von Siliciumoxyd unter Händen hatten, deren Zusammensetzung sehr nahe der Formel $\text{SiO} + \text{Si}^2\text{O}^3 + 3\text{HO}$ entsprach, und, wie es scheint im Zusammenhang hiermit einmal ein weniger flüchtiges Chlorür, welches die merkwürdige Eigenschaft hatte, sich beim Erhitzen bis zum Sieden von selbst zu entzünden und mit rother funkelnder Flamme von selbst fortzubrennen, unter Abscheidung einer großen Menge von amorphem Silicium.

XII. Ueber Stickstoffsilicium und Stickstoffbor.

(Aus einem Briefe des Prof. Wöhler an den Herausgeber.)

— Das neue Siliciumchlorür, $\text{Si}^2\text{Cl}^3 + 2\text{HCl}$, hat noch dadurch an Interesse gewonnen, daß man damit eine Verbindung von Stickstoff mit Silicium hervorbringen kann. Ich sättigte es mit Ammoniakgas, was unter sehr starker Erhitzung stattfand, und erhielt einen weissen, pulverigen Körper, der ein Gemenge von Salmiak mit einer Verbindung von Siliciumchlorür und Ammoniak ist. Wird diese Masse erhitzt, so sublimirt sich viel Salmiak; es entweicht Ammoniak und es bleibt eine weisse, feuerbeständige Substanz. Diese ist Stickstoffsilicium. Um es sicher frei von Salmiak zu erhalten, setzte ich die Masse in einen, in einem Kohlentiegel stehenden Porcellantiegel einem sehr starken Coaksfeuer aus. Das Stickstoffsilicium blieb als eine weisse, sehr leichte und lockere Masse zurück. Es verträgt eine Temperatur, bei der Nickel schmilzt, ohne zu schmelzen oder sich zu zersetzen. Auch scheint es beim Glühen an der Luft unveränderlich zu seyn, wenigstens verbrennt es nicht. Es wird selbst von kochender Kalilauge nicht verändert, aber mit Kalihydrat geschmolzen, entwickelt es eine große Menge Ammoniak. Mit Mennige erhitzt, reducirt es unter Feuerscheinung und Bildung von salpetriger Säure das Blei. Mit kohlensaurem Natron geschmolzen, verhält es sich auf dieselbe Weise, wie ich es vom Stickstoffbor gezeigt habe; es bildet mit dem Kohlenstoff der Kohlensäure Cyan. Die geschmolzene Masse ist ein Gemenge von kieselsaurem und cyansaurem Kali. Ich habe damit wohl charakterisirten Harnstoff dargestellt. Nimmt man einen Ueberschufs von Stickstoffsilicium, so bildet sich zugleich Cyankalium, mit dem ich Berlinerblau machen konnte. Deville hat das Stickstoffsilicium auch mit der Ammoniak-Verbindung des gewöhnlichen Chlorids, SiCl^3 ,

hervorgebracht. Wir werden daher die nähere Untersuchung gemeinschaftlich fortsetzen.

Wir haben neulich, als er einige Tage hier war, noch mehrere Versuche über das Bor gemacht. Wir fütterten einen hessischen Tiegel mit amorphem Bor aus, steckten eine Stange Aluminium hinein, stellten ihn dann, bedeckt und umgeben mit einer dicken Lage von frisch ausgeglühtem Kohlenpulver, in einen zweiten grösseren Tiegel, und setzten ihn gegen 3 Stunden lang dem heftigsten Coaksfeuer aus. Auf der Oberfläche des Aluminiums fanden sich prächtige gelbe und braune Krystalle von durchsichtigem Bor, wovon sich noch eine grössere Zahl, zugleich mit blafs kupferfarbenen sechsseitigen Tafeln von graphitförmigem Bor, bei der Auflösung des Aluminiums in Salzsäure abschied. Wir haben diesen Körper nie in schöneren und reineren Krystallen erhalten.

Was aber viel merkwürdiger ist, als dieser Uebergang aus dem amorphen Zustand in den krystallisirten, der vor auszusehen war, ist die Thatsache, dafs das übrige Bor grösstentheils in Stickstoffbor verwandelt war. Es war grau geworden und entwickelte nun, mit Kalihydrat geschmolzen, eine grosse Menge Ammoniak. Das Bor hat also, gleich dem Titan, die merkwürdige Eigenschaft, in sehr hoher Temperatur das die Tiegelwände durchdringende Stickgas der Ofenluft zu binden.

Dies veranlafste uns zu dem Versuche, amorphes Bor in getrocknetem Ammoniakgas zu erhitzen. Als das böhmische Rohr, worin das Bor lag, kaum zum Glühen gebracht war, entzündete sich letzteres und verbrannte unter lebhafter Feuererscheinung mit Entwicklung von Wasserstoffgas zu weifsem Stickstoffbor, das alle die Eigenschaften hatte, die ich früher von diesem Körper angegeben habe.

Göttingen den 19. October 1857.

W.

XIII. *Neue stereoskopische Erscheinung.*

Hr. Cima, Professor der Physik in Turin, hat uns, sagt der Herausgeber des *Cosmos* auf p. 353 Vol. XI seiner Zeitschrift, die Beschreibung eines stereoskopischen Versuchs übersandt, der nicht ohne Interesse ist. Er nimmt eine Abbildung, gleichviel in Kreide, Steindruck oder Kupferstich, die einen Kopf von vorne darstellt, etwa 3 oder 4 Centimeter hoch. Diese schneidet er in zwei Theile, längs einer Linie, die mit der Verticalaxe der Nase zusammenfällt; mit jeder Hand faßt er eine dieser Hälften und, beide immer in derselben lothrechten Ebene haltend, bringt er sie vor den Augen in einen Abstand, der kleiner ist als der des deutlichen Sehens; dann läßt er die optischen Axen convergiren, und nähert oder entfernt die beiden Zeichnungen, bis es ihm gelingt von jeder derselben zwei Bilder zu sehen, und bis die beiden mittleren Bilder sich decken, so daß sie den Eindruck eines ganzen Gesichtes machen. Wenn man diesen Versuch zum ersten Male macht, sagt Hr. Cima, wird man mit Erstauen sehen, daß das Vollgesicht, welches somit aus der Ueberdeckung der Bilder beider Hälften entstanden ist, in sehr hohem Grade den Eindruck eines körperlichen Gegenstandes macht. Die Halbdunkel zerfließen und vermischen sich wie in einer modellirten Figur; die Nase sondert sich sehr gut vom Gesichte ab; Augbraunen, Lippen und Kinn, sind sehr hervortretend, die ganze Gestalt hebt sich ab von dem Grunde, auf dem sie gezeichnet ist, und gewinnt einen auffallenden, man möchte sagen, lebenden Ausdruck. Der zur Hervorbringung des größten Effects erforderliche Abstand der beiden Halbgesichter von einander und von den Augen des Beobachters ist verschieden von einem Individuum zum andern und kann nur durch Probiren aufgefunden werden. Je mehr man die beiden Bilder fixirt, desto mehr verstärkt sich die Empfindung des Reliefs.

XIV. *Ueber die Transformation des flüssigen Cylinders; von Beer in Bonn.*

In einer Notiz, welche in diesen Annalen erschienen ist, sowie in der daselbst erwähnten Gelegenheitsschrift habe ich den Versuch gemacht, die Transformation des flüssigen Cylinders aus der Annahme zu erklären, es bleibe die flüssige Masse während ihrer Umformung von einer Fläche begränzt, die aus abwechselnden cylindrischen und ampullenförmigen Theilen zusammengesetzt ist, von denen die einen und anderen, für sich genommen, den Bedingungen des Gleichgewichtes genügen. Ich verdanke nun über diesen Gegenstand der Güte des Hrn. Plateau eine Berichtigung, die ich nicht unterlassen darf zu veröffentlichen. Derselbe machte mich nämlich darauf aufmerksam, daß die verschiedenen Phasen, welche sich aus jener Annahme ergeben, wesentlich von den Gestalten abweichen, wie sie sich im Versuche darbieten und wie er sie in seiner zweiten Reihe von Experimental - Untersuchungen über die Gleichgewichts-Figuren der Flüssigkeiten beschrieben und abgebildet hat. Die Meridian-Curve der Oberfläche zeigt nämlich fortwährend einen stetigen Verlauf der Krümmung wenigstens bis zu dem Punkte, wo die fadenförmigen Verbindungsstücke der gröfseren Massen auftreten, und diese Verbindungsstücke selbst zeigen einen sehr kleinen Durchmesser. Es versteht sich hiernach von selbst, daß die von mir gemachte Annahme unstatthaft ist.

I. *Chemische Theorie des Schiefspulvers;*
von R. Bunsen und L. Schischkoff.

Obwohl der Verbrennungsprozess des Schiefspulvers, welcher den mechanischen Effect desselben bedingt, nach Allem, was wir darüber wissen, nichts weniger als complicirt erscheint, so sind wir doch über die dabei auftretenden Vorgänge nur höchst unvollkommen unterrichtet; denn was auf diesem wichtigen Felde der theoretischen Artillerie seit der ersten und immer noch wichtigsten, vor länger als 30 Jahren publicirten Experimentaluntersuchung Gay-Lussac's gearbeitet ist, hat zu so widersprechenden Resultaten geführt, daß man selbst gegenwärtig noch auf eine auch nur einigermaßen mit der Erfahrung übereinstimmende chemische Theorie des Schiefspulvers hat verzichten müssen. Bekanntlich entspricht die als normal betrachtete Zusammensetzung des Pulvers einem Gemenge von 1 At. Salpeter, 1 At. Schwefel und 3 At. Kohle¹⁾.

Denkt man sich den gesammten Kohlenstoff zu Kohlensäure verbrannt und den Stickstoff als solchen ausgeschieden, so erhält man, wie die nachstehenden Zersetzungsschemata zeigen, aus 1 Grm. Pulver 330,9 Cubikcentimeter Gas von 0° und 0,76 Druck.



1) Die Kohle als reinen Kohlenstoff angenommen.

1 Grm. Pulver	{	Salpeter	0,7484	}	giebt explodirt
		Schwefel	0,1184		
		Kohle	0,1332		
			<u>1,0000</u>		
	{	Schwefelkalium	0,4078		
		Stickstoff	0,1037		= 82,52 Cubc.
		Kohlensäure	0,4885		= 248,40 "
			<u>1,0000</u>		<u>330,92 Cubc.</u>

Dieses Gasvolumen kann sich nicht ändern, wenn statt der Kohlensäure Kohlenoxyd und statt des Stickstoffs Stickoxyd bei der Verbrennung gebildet wird, und da in der Regel neben ganz unerheblichen Spuren von Wasserstoff und Schwefelwasserstoff nur Kohlensäure, Kohlenoxyd, Stickstoff und Stickstoffoxyd in den Pulvergasen auftreten, so müssen 331 Cubc. als das größte Gasvolumen betrachtet werden, welches überhaupt aus 1 Grm. normal zusammengesetzten Schießpulvers erhalten werden kann. Ganz dem entgegen ergeben die Versuche Gay-Lussacs und der meisten späteren Beobachter ¹⁾ für das unter gewöhnlichem Druck explodirte Pulver ein viel größeres Volumen, als der eben angestellten Betrachtung zufolge möglicherweise hätte erhalten werden können. Schon aus diesem Widerspruche allein läßt sich entnehmen, wie unsicher und fehlerhaft die Methoden und Beobachtungen gewesen seyn müssen, welche den meisten der bisherigen Untersuchungen über diesen Gegenstand zum Grunde liegen.

Wir haben daher versucht, auf einem weniger unsicheren Wege als dem bisher betretenen, eine experimentelle Grundlage für die chemische Theorie des Schießpulvers zu gewinnen. Es handelte sich dabei um die Beantwortung folgender Fragen:

- 1) Wie ist der bei der Pulverexplosion übrig bleibende feste Rückstand zusammengesetzt?
- 2) Woraus besteht der Pulverrauch?
- 3) Welche Zusammensetzung haben die bei der Explosion des Pulvers gebildeten Gase?

1) *Piobert, Traité d'artillerie, p. 265.*

- 4) Wieviel Rückstand und Rauch einerseits und wieviel Gase andererseits giebt ein bestimmtes Gewicht Pulver?
- 5) Wie groß ist die Verbrennungswärme des Pulvers und wie hoch die Temperatur seiner Flamme?
- 6) Wie groß ist der Druck der Pulvergase, wenn das Pulver in dem Raume, welchen es im gekörnten Zustande einnimmt, explodirt, unter der Voraussetzung, daß keine Wärme durch Strahlung und Mittheilung verloren geht?
- 7) Welches ist die theoretische Arbeit, die das Pulver zu leisten vermag?

Leider hat uns die Kürze der Zeit, welche unseren gemeinschaftlichen Arbeiten zugemessen war, nicht erlaubt, diese Fragen bei mehr als einer Pulversorte und bei dieser nur für die unter gewöhnlichem Atmosphärendruck erfolgende Verbrennung in Betracht zu ziehen. Wir geben daher auch die folgenden Versuche nicht als eine abgeschlossene Arbeit, sondern vielmehr nur als ein Beispiel zur Erläuterung der von uns befolgten Methode, die sich mit kleinen Abänderungen auch zur Untersuchung von Pulververbrennungen unter anderen als den von uns gewählten Verhältnissen benutzen läßt.

Die Zusammensetzung des zu allen unseren Versuchen verwandten Jagd- und Scheibenpulvers ergibt sich aus folgenden Versuchen:

- 1,2580 Grm. gaben 0,9960 Grm. Salpeter.
- 0,8697 Grm. gaben 0,7040 Grm. Salpeter.
- 0,9783 Grm. gaben 0,2054 Grm. im Wasser unlöslichen Rückstand, aus dem durch Ausziehen mit Schwefelkohlenstoff 0,1080 Grm. schwefelfreie Kohle erhalten wurden.
- 1,1285 Grm. gaben 0,2360 Grm. desselben Rückstandes, aus welchem durch Oxydation mit chlorsaurem Kali und Fällern mit Chlorbaryum 0,8028 Grm. schwefelsaurer Baryt erhalten wurden.
- 0,1844 Grm. der schwefelfreien Kohle gaben bei der

organischen Analyse 0,0606 Grm. Wasser und 0,4658 Grm. Kohlensäure.

Das Pulver bestand daher aus:

Salpeter	78,99
Schwefel	9,84
Kohle	{ Kohlenstoff 7,69
	{ Wasserstoff 0,41
	{ Sauerstoff 3,07
	{ Spuren von Asche 0,00
	<hr/> 100,00.

Um zunächst nur die qualitative Zusammensetzung der festen sowohl als der gasförmigen Zersetzungsproducte, welche das Pulver bei der Explosion liefert, kennen zu lernen, haben wir uns des kleinen Apparates Fig. 1, Taf. IV bedient: *a* ist ein luftdicht durch den Kork *b* geführtes 250 Millimeter langes und 2 Millimeter weites Messingrohr, in welches man das fein zerriebene Schiefspulver einstampft. Dieses Röhrchen *a* wird, sobald das Pulver entzündet ist und mit gleichförmiger zischender Flamme aus demselben herausbrennt, mittelst des Korkes *b* in die weite Glasröhre *d* luftdicht eingesetzt.

Das Rohr *d* erhitzt sich dabei so rasch, daß es leicht an der Stelle, wo es von der Pulverflamme getroffen wird, zerspringen kann. Um dies zu verhüten, schiebt man ein siebförmig durchlöcherntes Blechröhrchen *c*, oder statt desselben eine dünnwandige Glasröhre in die grössere Röhre *d* welche dadurch vor der unmittelbaren Einwirkung der Pulverflamme geschützt wird. Rückstand und Rauch des abgebrannten Pulvers bleiben in den Röhren *a* und *d*, während die Gase aus dem Entwicklungsrohre *e* entweichen und mittelst desselben über Quecksilber ohne Verunreinigung aufgefangen werden können, wenn man die atmosphärische Luft durch die bei der Verbrennung gebildeten Pulvergase zuvor verdrängt hat.

In dem mit diesem Apparate erhaltenen festen Zersetzungsproducte des Pulvers lassen sich leicht folgende Stoffe nachweisen: 1) schwefelsaures Kali, 2) kohlen-saures

Kali, 3) unterschweflihsaures Kali, 4) Schwefelkalium, 5) Kalihydrat, 6) Schwefelcyankalium, 7) salpetersaures Kali, 8) Kohle, 9) Schwefel, 10) kohlenaures Ammoniak.

Die gasförmigen Zersetzungsproducte dagegen enthalten: 1) Stickstoff, 2) Kohlensäure, 3) Kohlenoxyd, 4) Wasserstoff, 5) Schwefelwasserstoff, und unter Umständen erhebliche Mengen von 6) Stickoxyd und selbst Stickstoffoxydul.

Um das Material zur quantitativen Bestimmung dieser Stoffe leicht und ohne Gefahr in größserer Menge darzustellen, haben wir uns eines andern Apparates bedient, der in Fig. 2, Taf. IV abgebildet ist. *a* ist eine mit ungefähr 15 bis 20 Grw. Pulver gefüllte vulkanisirte Kautschuckröhre, die über den Messingaufsatz *b* der gegen 1 Meter langen und 2,5 Millimeter weiten Glasröhre *c* gesteckt ist. Der Aufsatz *b* enthält eine kleine kreisrunde Oeffnung mit scharfem Rande in dünner Platte, durch welche die Pulverkörner als möglichst feiner Strahl wie in einer Sanduhr von dem Augenblick an herabfallen, wo man den Kautschuckschlauch in die auf der Zeichnung Fig. 3, Taf. IV angegebene Lage bringt und gelinde bewegt. Bei dem Aufstecken des Kautschuckrohrs *a* auf die Hülse *b* wird dasselbe abwärts gehalten, um das vorzeitige Herabfallen von Pulverkörnern in die Glaskugel *d* zu verhüten. Diese Glaskugel *d*, welche mit einer Lampe von aussen schwach erhitzt erhalten wird, dient zum Abbrennen des Pulvers, welches vollkommen ruhig in Gestalt einer zuckenden Flamme vor sich geht, wenn der Pulverstrahl möglichst fein ist und continuirlich herabfällt. Einzelne Unterbrechungen desselben, die durch leichte Bewegungen des Schlauches *a* leicht beseitigt werden, sind dem Versuche nicht hinderlich. Der feste Pulverrückstand bleibt fast vollständig in der Kugel *d* und ihrem Röhrenfortsatz, während sich der Pulverrauch ohne Verlust in dem 25 Millimeter weiten und 1,5 bis 2 Meter langen Rohre *ee*₁ absetzt und die gasförmigen Producte bei *e*₁ in die Luft entweichen. Man kann diese gasförmigen Producte nicht mittelst eines

Entwickelungsrohres an der Mündung e , auffangen, denn in dem Augenblicke, wo man ein solches Ableitungsrohr unter eine Sperrflüssigkeit taucht, bewirkt schon der Druck der kleinsten absperrenden Wassersäule, daß die Flamme aus der Kugel d durch das Rohr c in den Schlauch a zurückschlägt und die ganze Pulvermasse im Rohr a entzündet. Die bei solchen Entzündungen in Massen von 15 bis 20 Grm. Pulver bewirkten Explosionen sind zwar sehr heftig, aber selbst für den in der Nähe mit der Handhabung des Rohres a beschäftigten Beobachter völlig gefahrlos, da der Kautschuckschlauch sogleich zerrissen wird, ohne einen großen Widerstand zu leisten. Der gläserne Theil des Apparates bleibt bei solchen Explosionen, die auch dann eintreten, wenn sich der Röhrenfortsatz der Kugel d verstopft, völlig unversehrt. Um daher ohne Gefahr einer solchen Explosion die gasförmigen Producte zur Analyse aufzufangen, wandten wir das mit dem Aspirator k verbundene Saugrohr ff an und fingen dieselben mittelst des Aspirators in den Sammelröhrchen s_1, s auf, welche mit Klemmschrauben verschlossen und dann mit dem Löthrohre hermetisch abgeschmolzen wurden.

Der durch Verbrennung von ungefähr 20 Grm. Pulver in der Kugel d Fig. 2 Taf. IV erhaltene Rückstand bildete eine halbgeschmolzene gelblich graue compacte Masse, die sich leicht mit Zurücklassung von etwas Kohle in Wasser löste. Die Analyse desselben wurde nach folgender Methode ausgeführt.

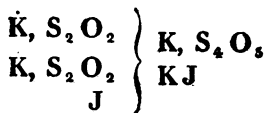
1. *Bestimmung der unverbrannten Kohle.* 7 Grm. Substanz in heißem Wasser aufgelöst gaben 0,0682 Grm. auf einem gewogenen Filter gesammelte Kohle, welche 0,974 Proc. Kohle entsprechen.

2. *Bestimmung des Schwefelkaliums.* Die abfiltrirte Flüssigkeit wurde mit geglühtem Kupferoxyd in einem Stöpselcylinder zwei Tage lang unter zeitweiligem Umschütteln sich selbst überlassen, bis die anfangs sich bräunende Flüssigkeit wieder farblos geworden war. Das darauf abfiltrirte sulfidhaltige Oxyd, in rauchender Salpetersäure gelöst,

gab 0,1567 Grm. von salpetersaurem Baryt befreiten schwefelsauren Baryt, welche auf 100 Substanz 2,239 schwefelsauren Baryt oder 1,058 Schwefelkalium oder 1,077 Kalihydrat oder 0,9043 Kali oder 0,3080 Schwefel entsprechen.

3. *Bestimmung des unterschwefligsauren Kalis.* Die gesammte bei Versuch 1 und 2 erhaltene Flüssigkeit wurde wohl gemischt in sieben gleiche Volumentheile getheilt und zu dieser sowie zu den folgenden Bestimmungen je 1 Volumenthail, welches 1 Grm. Substanz entsprach, verwandt.

Die Menge des unterschwefligsauren Salzes läßt sich am einfachsten durch eine titrirte Jodlösung aus der bis zur beginnenden sauren Reaction mit Essigsäure versetzten Flüssigkeit bestimmen. Nennt man den Jodgehalt eines Bürettengrades in Grammen α , die Anzahl der zur stärkehaltigen Lösung bis zur eintretenden Bläuung zugesetzten Bürettengrade t , so ergibt sich die Menge des unterschwefligsauren Kalis aus der Formel $s = \alpha \frac{2K\ddot{S}}{J} t$, wie man aus dem nachstehenden Zersetzungsschema ersieht:



t betrug 40,7, α war bei dieser wie bei allen folgenden Bestimmungen 0,001242 Grm. Daher enthielt die untersuchte Flüssigkeit $0,001859 \times 40,7 = 0,07566$ Grm. unterschwefligsaures Kali oder auf 100 Substanz 7,566, welche 3,747 Kali oder 2,5452 Schwefel oder 8,0434 Salpeter entsprechen.

4. *Bestimmung des schwefelsauren Kalis.* Dieselbe Flüssigkeitsmasse, welche 1 Grm. Rückstand enthielt, gab 0,7582 Grm. schwefelsauren Baryt, welche auf 100 Substanz 56,623 schwefelsaurem Kali oder 10,397 Schwefel oder 30,624 Kali oder 65,721 Salpeter entsprechen.

5. *Bestimmung des Rhodankaliums.* Kleine Mengen Rhodankalium lassen sich mit großer Schärfe durch colorimetrische Titrirung finden. Wir bereiteten zu diesem

Zwecke eine Lösung, welche 0,0004894 Rhodankalium im Bürettengrade enthielt und die zu allen unseren Bestimmungen benutzt wurde. Als colorimetrisches Mittel diente eine hinlänglich verdünnte mit Chlorwasserstoffsäure versetzte Eisenchloridlösung von unbestimmtem Eisengehalt. Von dieser Lösung wurden zwei Maafsflaschen in zwei vollkommen gleichgestaltete Glasylinder gebracht, der eine mit der auf Rhodankalium zu prüfenden Flüssigkeit gefüllt, und in den anderen so viel titrirte Rhodankaliumlösung zugesetzt, bis in beiden die Färbung übereinstimmte, wobei die Vorsicht beobachtet ward, durch Wasserzusatz zu der Flüssigkeit des einen Cylinders die Verdünnung in beiden gleich zu erhalten. Bezeichnet man den Rhodankaliumgehalt eines Bürettengrades in Grammen mit α_1 , die Zahl der verbrauchten Bürettengrade, um gleiche Färbung zu erhalten, mit t_1 , so ergibt sich der Rhodankaliumgehalt s aus der Formel

$$s = \alpha_1 t_1.$$

α_1 betrug bei diesem und allen folgenden Versuchen 0,0004884 Grm. Nach dieser Methode läßt sich noch ein halbes Milligramm des Salzes mit Sicherheit bestimmen. Der Versuch gab 17,5 Bürettengrade in der 1 Grm. Rückstand enthaltenden Flüssigkeit, was 0,8564 Proc. Rhodankalium oder 0,4145 Kali oder 0,2815 Schwefel oder 0,8896 Salpeter entspricht.

6. *Bestimmung des Ammoniaks.* Man bestimmt den Gehalt an wasserfreier Säure in einer verdünnten Salzsäureflüssigkeit durch Fällung mit Silberlösung. Die zu unseren Versuchen benutzte Flüssigkeit enthielt 0,002357 Grm. wasserfreie Säure im Cubikcentimeter. Von dieser Flüssigkeit wurden zwei gleiche Portionen A und A_1 in einem 23,81 Cubc. fassenden Maafsfläschchen abgemessen. Die eine A bringt man in dem im Kühlwasser des Gefäßes C Fig. 3, Taf. IV stehenden Stöpselcylinder c . In diesen Cylinder wird das Ammoniak durch ein Ableitungsröhr aus der Retorte r abdestillirt, indem man es durch Kochen mit einer Lösung von salpensäurefreiem Aetzkali

ausreibt. Um das Zurücksteigen bei dem Kochen unmöglich zu machen, läßt man das unter der Flüssigkeit befindliche Ende der Ableitungsröhre in ein zolllanges enges vulkanisirtes Kautschuckrohr endigen, das mit einem Glasstäbchen verschlossen ist und in dessen Wandung mittelst eines befeuchteten Federmessers ein Längsschnitt angebracht wird. Ein solcher Längsschnitt wirkt wie eine Venenklappe, indem er dem Dampfstrom einen ungehinderten Austritt gestattet, sich aber hermetisch verschließt, sobald in der Retorte durch Abkühlung ein verminderter Druck eintritt. Ist das Ammoniak überdestillirt, was sich aus dem Volumen des übergegangenen Wassers beurtheilen läßt, so kühlt man den Cylinder *c* ab und entleert seinen Inhalt in ein Becherglas. In eben ein solches wird auch die zweite Portion Salzsäureflüssigkeit *A* gebracht und mit so viel Wasser versetzt, daß das Flüssigkeitsvolumen in beiden Gläsern gleich ist. Nachdem beide Flüssigkeiten durch gleiche Mengen Lackmuslösung gefärbt sind, titirt man sie mit einer Ammoniaklösung, von welcher ungefähr 20 Bürettengrade zur Neutralisirung von einer Maafsflasche der angewandten Chlorwasserstoffflüssigkeit nöthig sind. Bezeichnet man die Salzsäuremenge in einer Maafsflasche mit α , die Anzahl Bürettengrade Ammoniakflüssigkeit, welche zur Neutralisirung von *A* und *A*₁ nöthig sind, mit *t* und *t*₁, und mit *x* die gesuchte in *A* überdestillirte Ammoniakmenge, so ist

$$\frac{\alpha}{t_1}(t_1 - t)$$

die dem gesuchten kohlensauren Ammoniak aequivalente Menge Salzsäure, woraus sich für das kohlensaure Ammoniak selbst ergibt:

$$x = \frac{(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3}{2\text{HCl}} \cdot \frac{\alpha(t_1 - t)}{t_1}.$$

Der Versuch gab für *t*₁ und *t* einen gleichen Werth, was die völlige Abwesenheit von Ammoniak beweist.

7. *Bestimmung des Salpeters.* Die 1 Grm. Rückstand enthaltende Flüssigkeit, in welcher kein Ammoniak gefun-

den war, wurde mit reiner Schwefelsäure schwach angesäuert und mit Zinkblech von der Dicke des Stanniols behandelt. Die in kaltem Wasser abgekühlte Flüssigkeit wurde während mehrerer Stunden allmählich immer mit nur so viel Schwefelsäure versetzt, daß sich das Zink unter der schwächsten Gasentwicklung löste. Ist die Auflösung und mit ihr die Umwandlung der Salpetersäure in Ammoniak erfolgt, so wird die Flüssigkeit mit bedeutend mehr Aetzkalklösung versetzt als zur Lösung des niederfallenden Zinkoxyds erforderlich ist und das gebildete Ammoniak auf die eben beschriebene Weise bestimmt. Wird die Bedeutung der in (6) benutzten Bezeichnungen beibehalten, so ist x_1 oder die gesuchte Menge salpetersaures Kali.

$$x_1 = \frac{\overset{\cdot\cdot}{\underset{\cdot\cdot}{\text{K N}}}}{\text{HCl}} \cdot \frac{\alpha}{t_1} \cdot (t_1 - t).$$

Der Versuch gab $\alpha = 0,05612$ Grm.; $t_1 = 27,0$; $t = 18,0$; woraus für x_1 der Werth 0,05185 Grm. folgt.

8. *Bestimmung des kohlen sauren Kalis.* Ein Flüssigkeitsmaafs, welches 1 Grm. Rückstand enthielt, wurde mit einer Lösung zuvor geschmolzenen Manganchlorürs gefällt und der abfiltrirte und getrocknete Niederschlag mit dem Filter in einem zur Kohlensäurebestimmung geeigneten Apparat mit verdünnter Schwefelsäure behandelt. Die aus der wiederholt bis zum Kochen erhitzten Flüssigkeit ausgetriebene, durch den Gewichtsverlust des Apparates bestimmte Kohlensäure betrug 0,0860 Grm., welche 27,016 Proc. kohlen sauren Kalis oder 2,3452 Kohle oder 18,417 Kali oder 39,525 Salpeter entsprechen.

9. *Bestimmung des Kalihydrats.* Das im Kohlensäureapparat gelöste Manganoxydul der letzten Bestimmung (8) gab mit kohlen saurem Natron gefällt 0,1654 Grm. Manganoxyduloxyd. 3 Atome $\text{Mn}\ddot{\text{C}}$ oder 3 Atome $\ddot{\text{C}}$ entsprechen aber 1 Atom Mn_3O_4 . Die im kohlen sauren Manganoxydul gefundenen 0,086 Grm. Kohlensäure entsprechen daher 0,1495 Mn_3O_4 ; diese 0,1495 Grm. von 0,1654 Grm. abgezogen lassen 0,0159 Grm Mn_3O_4 , welche daher nicht

als $Mn\ddot{C}$, sondern als Manganoxydulhydrat in dem ursprünglichen Niederschlage vorhanden waren. 1 Atom Mn_3O_4 sind aber 3 Atome MnO aequivalent, die 3 Atome KaH zur Fällung erfordern. M_3O_4 zeigen daher 3 Atome KH an, wonach jenen 0,0159 Mn_3O_4 2,339 Proc. Kalihydrat entsprechen.

Da das Schwefelkalium bei der Bestimmung mit Kupferoxyd in Kalihydrat übergeht, so muß diese dem Schwefelkalium aequivalente Menge Kalihydrat, welche nach Versuch 2) 1,077 Proc. beträgt, von diesem 2,339 Proc. abgezogen werden. Es bleiben also für das in dem Gemenge enthaltene Kalihydrat 1,262 Proc., die 1,0596 Kali oder 2,2741 Salpeter aequivalent sind.

10. *Bestimmung des in sämtlichen Gemengtheilen enthaltenen Kalis.* Eine Maafsflasche, welche 1 Grm. Rückstand enthielt, gab mit Schwefelsäure eingedampft nach dem heftigen Glühen 1,0447 schwefelsaures Kali, welche 56,497 Proc. Kali entsprechen.

Fasst man das Resultat dieser Versuche zusammen, so ergibt sich folgende Zusammensetzung des Pulverrückstandes:

I.	
Schwefelsaures Kali	56,62
Kohlensaures Kali	27,02
Unterschwefligsaures Kali	7,57
Schwefelkalium	1,06
Kalihydrat	1,26
Schwefelcyankalium	0,86
Salpeter	5,19
Kohle	0,97
Kohlensaures Ammoniak	0,00
Schwefel Spur	0,00
	<hr/> 100,52

Die Menge Kali, welche in 100 Theilen des untersuchten Gemenges enthalten ist, beträgt daher der Analyse zufolge 56,88; durch den Versuch 10) wurden direct 56,50 gefun-

den, was nur um 0,38 von der aus der Analyse berechneten Zahl abweicht.

Man sieht aus dieser Zusammensetzung, daß der Pulverrückstand seiner Hauptmasse nach aus schwefelsaurem und kohlsaurem Kali und nicht, wie es in den besten artilleristischen und technischen Werken angenommen wird, aus Schwefelkalium besteht, dessen Menge im Gegentheil kaum mehr als ein Procent von der Gesamtmasse ausmacht.

Um die zweite Frage über die Zusammensetzung des »Pulverdampfes« zu beantworten, haben wir den grauen lockeren, stark nach Ammoniak riechenden, aus condensirtem Pulverdampf bestehenden Aufzug, welcher sich nach dem offenen Ende des langen Rohres *ee*, hin abgesetzt, für sich aufgesammelt und analysirt. Da sich dieser Absatz nicht aus dem Rohr entfernen läßt ohne Feuchtigkeit anzuziehen, so wurde derselbe sogleich im Wasser gelöst, die in der Flüssigkeit suspendirte Kohle abfiltrirt, die durchgelaufene gehörig gemischte Flüssigkeit in 11 gleiche Volumentheile getheilt und von denselben je einer zu den folgenden Bestimmungen benutzt.

1. *Kohle*. Die in der gesammten Flüssigkeit enthaltene Kohle wog 0,08526 Grm. und war schwefelfrei. Einem Theile der Flüssigkeit entsprechen daher 0,00775 Grm. Kohle.

2. *Schwefelkalium*. Die Flüssigkeit schwärzte Bleipapier nicht und enthielt daher kein Schwefelkalium.

3. *Unterschwefligsaures Kali*. Ein Theil Flüssigkeit erforderte 11 Bürettengrade der Titirflüssigkeit, welche 0,02045 Grm. unterschwefligsaurem Kali entsprechen.

4. *Schwefelsaures Kali*. Ein Theil Flüssigkeit gab 0,3650 Grm. schwefelsauren Baryt, welche 0,2726 Grm. schwefelsaurem Kali entsprechen.

5. *Rhodankalium*. Ein Theil Flüssigkeit erforderte 4,7 Bürettengrade der Titirflüssigkeit, welche 0,00230 Rhodankalium entsprechen.

6. *Ammoniak*. 2 Theile Flüssigkeit gaben $t_1 = 27,0$,

$t = 23,9$, $\alpha = 0,05612$, was 0,0004373 anderthalb kohlen-saurem Ammoniumoxyd oder 0,0002445 Kohlensäure auf 1 Theil Flüssigkeit entspricht.

7. *Salpetersaures Kali*. 1 Theil Flüssigkeit gab $t_1 = 27,0$, $t = 25,2$, $\alpha = 0,05612$, was 0,010374 Salpeter entspricht.

8. *Kohlensaures Kali*. 2 Theile Flüssigkeit gaben 0,0629 Kohlensäure, welche nach Abzug der Kohlensäure des koh-lensauren Ammoniaks in Versuch 6) für 1 Theil Flüssigkeit 0,09803 Grm. kohlen-saurem Kali entsprechen.

9. *Kalihydrat*. 2 Theile Flüssigkeit gaben 0,1169 Grm. Manganoxyduloxyd, was 0,05845 Mn_2O_4 für 1 Theil Flüs-sigkeit entspricht. Zieht man davon die der Kohlensäure des Versuchs 8) (0,03145) äquivalente Menge Mn_2O_4 (0,05466) ab, so bleiben 0,00379 Grm. Mn_2O_4 , welche 0,00556 Kalihydrat entsprechen.

Nach diesen Versuchen sind daher in einem Theile der Flüssigkeit enthalten:

Schwefelsaures Kali	0,27258
Kohlensaures Kali	0,09803
Unterschwefligsaures Kali	0,02045
Schwefelkalium	0,00000
Kalihydrat	0,00556
Rhodankalium	0,00230
Salpeter	0,01037
Kohle	0,00775
$\frac{2}{3}$ kohlen-saures Ammoniak	0,00044
Schwefel	0,00000
	<hr/> 0,41748

oder in 100 Theilen der aufgelösten festen Substanz

II.

Schwefelsaures Kali	65,29
Kohlensaures Kali	23,48
Unterschwefligsaures Kali	4,90
Schwefelkalium	0,00
Kalihydrat	1,33
Rhodankalium	0,55
Salpeter	2,48
Kohle	1,86
$\frac{2}{3}$ kohlen-saures Ammoniak	0,11
Schwefel	0,00
	<hr/> 100,00

Zur Controle wurde ein Maafs Flüssigkeit mit Schwefelsäure eingedampft und in neutrales schwefelsaures Kali verwandelt. Die erhaltene Salzmasse wog 0,4286 Grm. Der Analyse zufolge hätte ein Maafs Flüssigkeit 0,4345 Grm. des Salzes geben müssen. Die Uebereinstimmung beider Zahlen läßt sich nicht grösser erwarten und kann als eine Bürgschaft für die Genauigkeit der Analyse betrachtet werden.

Durch eine Vergleichung dieser Analyse (II) mit der des Pulverrückstandes (I) läßt sich der Schluß ziehen, daß der Pulverrauch im Wesentlichen die Zusammensetzung des Pulverrückstandes besitzt, daß darin der Schwefel und Salpeter des Pulvers etwas vollständiger zu schwefelsaurem Kali verbrannt sind und statt der fehlenden kleinen Menge Schwefelkalium kohlen saures Ammoniak als flüchtigeres Product in erheblichen Spuren auftritt.

Zur Erledigung der dritten, die Natur der Pulvergase betreffenden Frage haben wir das zur Analyse nöthige Gas mit Hülfe des oben beschriebenen Apparats Fig. 2 Taf. IV erzeugt und aufgefangen.

Saugt man die bei der stetig erhaltenen Verbrennung des gekörnten Pulvers aus dem Rohr *ee*, entweichenden Gase mit dem Munde durch die Röhre *ff* auf, so zeigen sie einen Geschmack nach fast reiner Kohlensäure. Läßt man sie durch die Nase entweichen, so bemerkt man nicht den geringsten Geruch nach Cyan, schwefliger Säure oder Stickoxyd, sondern nur kaum erkennbare Spuren von Schwefelwasserstoff. Mit Luft vermischt geben sie keine sichtbaren rothen Dämpfe. Da sich noch einige Tausentel Cyan oder Stickstoffoxyd oder schweflige Säure auf diese Art durch den Geruch und Geschmack erkennen lassen, so darf man annehmen, daß diese drei Gemengtheile in dem zur Untersuchung verwandten Gase fehlten. Von den gasförmigen Producten, welche bei der Verbrennung des Pulvers ausserdem noch entstehen konnten, bleiben daher nur Kohlensäure, Schwefelwasserstoff, Spuren von Sauerstoff, Kohlenoxyd, Wasserstoff, Stickstoff und Stickstoff-

oxydul übrig. Die Analyse eines diese sieben Gase enthaltenden Gemenges läßt sich nach folgender Methode ausführen. Man bestimmt zuerst im Absorptionsrohr Kohlensäure und Schwefelwasserstoff mit Kali, und Sauerstoff mit pyrogallussaurem Kali. Der Gasrückstand wird darauf in ein Eudiometer übergefüllt, mit überschüssigem Sauerstoff und elektrolytischem Knallgas verpufft und der nach der Verpuffung übrigbleibende Sauerstoff mit überschüssigem Wasserstoff verbrannt.

Bezeichnen wir die gesuchten Volumina Kohlensäure, Schwefelwasserstoff, Sauerstoff, Kohlenoxyd, Wasserstoff, Stickstoffoxydul und Stickstoff der Reihe nach mit k w s k_0 h n_0 und n , so haben wir zunächst, wenn A_0 das im Absorptionsrohr zur Analyse benutzte Gasvolumen ist,

$$k + w + s + k_0 + h + n_0 + n = A_0$$

k , w und s ergeben sich unmittelbar durch Absorption. Nennt man das nach dieser Absorption noch übrig bleibende Volumen A_1 , so ist

$$k_0 + h + n_0 + n = A_1.$$

Werden A_2 Volumina von dem Volumen A_1 zur Analyse im Eudiometer verwandt, so ist, wenn man $\frac{A_2}{A_1} = \alpha$ setzt,

$$\alpha k_0 + \alpha h + \alpha n_0 + \alpha n = A_2.$$

Bezeichnet man die bei der Verbrennung dieses Volumens A_2 mit Sauerstoff gebildete Kohlensäure durch K und die bei dieser Verbrennung beobachtete Contraction mit C so ist

$$\alpha k_0 = K$$

$$\alpha h = \frac{2C - K}{3}.$$

Nennt man das Volumen des zur Verbrennung von A_2 in das Eudiometer eingelassenen Sauerstoffs O , so ist das nach erfolgter Verbrennung und nach stattgehabter Absorption der Kohlensäure noch übrig bleibende Sauerstoffvolumen $O - \frac{K + C}{3}$. Bezeichnet man ferner das nach der Verbrennung und Kohlensäureabsorption von $A_2 + O$ noch übrige Volumen durch V , so erhält man

$$\varphi) \quad \alpha n_0 + \alpha n = V - O + \frac{K+C}{3}.$$

Wird das Volumen V mit einem Ueberschufs von Wasserstoff verpufft, so erhält man eine Contraction $= C_1$, welche durch Verbrennung des vorhandenen Sauerstoffs $= O - \frac{K+C}{3}$ einerseits und durch die Verbrennung des Stickoxyduls αn_0 andererseits bewirkt wird. Da nun die auf Rechnung dieser $O - \frac{K+C}{3}$ Sauerstoff kommende Contraction $3O - C - K$ beträgt, so muß die auf Rechnung jener αn_0 Stickstoffoxydul stattfindende Contraction $C_1 - 3O + C + K$ betragen. Da ferner bei der Verbrennung von 1 Vol. Stickstoffoxydul mit einem Ueberschufs von Wasserstoff 1 Vol. Gas verschwindet, so hat man:

$$\alpha n_0 = C_1 - 3O + C + K.$$

Wenn man diesen Werth in die Gleichung $\varphi)$ substituiert, so erhält man:

$$\alpha n = V - C_1 + 2O - \frac{2}{3}(C + K).$$

Eine auf diese Betrachtungen gestützte, mit aller Sorgfalt ausgeführte, Analyse der aus dem Apparate Fig. 2 aufgefangenen Gase gab folgende Resultate:

Absorptionsanalyse.

	Vol.	Druck.	Temp.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Druck
Anfängliches Volumen	136,2	0,7359	8,8	97,102
Nach Absorption des \ddot{C} und des HS	69,1	0,6760	8,0	45,382
Nach Absorption des O	68,7	0,6738	8,6	44,877.

Schwefelwasserstoffbestimmung aus der Kalikugel ¹⁾.

146 Theilstriche des Absorptionsrohrs entsprechen 30 CbC.
1 Bürettengrad enthielt $a = 0,001242$ Grm. Jod
Die Kalikugel erforderte $t = 1,8$ Bürettengrade.
Das in 97,104 Volumen Gas bei 0° und 1^m Druck enthal-

1) Gasometrische Methoden von R. Bunsen S. 93.

tene mit der Kohlensäure gemeinschaftlich absorbirte Schwefelwasserstoffvolumen betrug daher:

$$\frac{146}{30} \cdot \frac{773}{1,175} \cdot \frac{112,5}{1588,7} \cdot 0,76 \alpha t = 0,58 \text{ Theilstriche.}$$

Verbrennungsanalyse des übergefüllten Gases.

	Vol.	Druck	Temp.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Druck
Anfängliches Volumen	110,0	0,3569	10,2	37,846
Nach Zulassung von Sauerstoff	150,6	0,3974	10,3	57,674
Nach Zusatz von elektrolytischem Knallgas	189,0	0,4350	10,3	79,230
Nach der Explosion	144,2	0,3915	9,3	54,595
Nach Absorption des C	135,7	0,3915	9,1	51,414
Nach Zulassung von H (trocken)	220,4	0,4753	10,9	100,740
Nach der Explosion (trocken)	125,6	0,3917	9,0	47,629

Daraus ergeben sich folgende zur Berechnung erforderliche Elemente:

$$\begin{aligned} A_0 &= 79,102 \\ A_1 &= 44,877 \\ A_2 &= 37,846 \\ K &= 3,181 \\ C &= 3,079 \\ O &= 19,828 \\ V &= 51,414 \\ C_1 &= 53,111. \end{aligned}$$

Durch Substitution derselben in die Formeln erhält man:

$$\begin{aligned} k &= 51,140 \\ w &= 0,580 \\ s &= 0,505 \\ k_0 &= 3,772 \\ h &= 1,176 \\ n &= 40,063 \\ n_0 &= -0,134 \end{aligned}$$

Das Gas besteht daher in 100 Volumentheilen aus

Kohlensäure	52,67
Stickstoff	41,12
Kohlenoxyd	3,88
Wasserstoff	1,21
Schwefelwasserstoff	0,60
Sauerstoff	0,52
Stickstoffoxydul	0,00
	<hr/> 100,00.

Was zunächst bei dieser Analyse auffällt, ist der in der Glühhitze neben brennbaren Gasen erzeugte freie Sauerstoff. Wir glauben nicht, daß die gefundenen 0,52 Proc. desselben auf einem Fehler der Analyse beruhen, da die Genauigkeit der angewandten Methode und die auf die Versuche verwandte Sorgfalt einen solchen Fehler kaum möglich erscheinen lassen. Dieser Gehalt an freiem Sauerstoff findet vielmehr darin eine genügende Erklärung, daß der nach Verbrennung der Kohle und des Schwefels noch immer salpeterhaltige, als Rauch zertheilte Pulverrückstand kleine Mengen Sauerstoffs während des Erkaltes bei einer Temperatur ausgeben kann, die zur Entzündung des bis auf das Siebenzehnfache mit unverbrennlichen Gemengtheilen vermischten Gases nicht mehr hinreicht.

Wenn das Pulver bei der Explosion, wie es die bisherige Theorie fordert, gerade auf in Schwefelkalium, Stickstoff und Kohlensäure zerfiele, so müßten die beiden letzteren Gase in dem Volumenverhältniß von 1:3 zu einander stehen. Der Versuch zeigt aber, daß in der Wirklichkeit nicht einmal das Verhältniß 1:1,5 erreicht wird. Es läßt sich daher auch aus diesem Umstande schließen, daß die Zersetzung des Schießpulvers auf ganz anderen als denjenigen Vorgängen beruhen muß, von welchen die alte Theorie ausgeht.

Wir können uns nun zur Beantwortung der vierten Frage wenden, der Frage nämlich, wieviel Rückstand und Rauch einerseits und wieviel Gase andererseits ein bestimmtes Gewicht Pulver bei dem Abbrennen liefert?

Um dieselbe zu entscheiden, haben wir den gemeinschaftlich gesammelten Rauch und Rückstand analysirt, welche bei der Verbrennung der Pulvermenge erhalten wurde, aus der die eben untersuchten Gase stammen.

Um die Analyse bequemer ausführen zu können, wurde wieder eine unbestimmte Menge der zu untersuchenden Substanz in so viel Wasser gelöst, daß das Volumen der gesammten Flüssigkeit 500 Cbc. betrug. Zu den einzelnen Bestimmungen dienten jedesmal 45,474 Cbc., die in einem Maafscylinder abgemessen wurden. Die zur Berechnung der Versuche benutzten Constanten sind, wo sie nicht besonders angegeben sind, dieselben, wie in der eben mitgetheilten Analyse des Pulverrückstandes.

1. *Kohle und Schwefel.* 500 Cbc. gaben 0,2141 Grm. Kohle, Schwefel und unverbrennlichen Rückstand. 0,1758 Grm. davon gaben 0,1749 Grm. schwefelsauren Baryt, welche auf 0,2141 Grm. des gesammten Niederschlags 0,02920 Grm. Schwefel entsprechen. Der mit Salpetersäure und der nicht mit Salpetersäure behandelte Niederschlag gaben vereinigt bei dem Glühen in einem offenen Tiegel 0,0248 Grm. unverbrennlichen Rückstand. Auf eine Maafsflasche oder 45,475 Cbc. der zu den späteren Versuchen benutzten Flüssigkeit kommen daher

Kohle	0,014561 Grm.
Schwefel	0,002656 "
Rückstand	0,002256 "

2. *Schwefelkalium.* Die Gesamtflüssigkeit (500 Cbc.), wie früher mit Kupferoxyd behandelt, gab 0,9902 Grm. schwefelsauren Baryt, welche 0,46787 Schwefelkalium oder 0,1358 Schwefel und auf 45,475 Cbc. 0,04255 Grm. Schwefelkalium entsprechen.

3. *Unterschwefligsaures Kali.* 1 Maafscylinder gab 35,1 Bürettengrade, welche 0,06525 unterschwefligsaurem Kali entsprechen.

4. *Schwefelsaures Kali.* 1 Maafscylinder gab 1,131 Grm. schwefelsauren Baryt, welche 0,84463 Grm. schwefelsaurem Kali entsprechen.

5. *Rhodankalium*. 1 Maafscylinder gab 12,5 Bürettengrade, welche 0,006105 Rhodankalium entsprechen.

6. *Ammoniak*. 1 Maafscylinder gab $\alpha = 0,06688$, $t_1 = 46,6$; $t = 17,3$. Diefs entspricht 0,01645 Ammoniak oder $0,05709 \text{ } 2\text{NH}_4 + 3\ddot{\text{C}}$.

7. *Salpetersaures Kali*. Es wurde 1 Maafscylinder angewandt. Eine der bei diesem Versuch benutzten, gleiche Kalimenge auf ihren Ammoniakgehalt geprüft, gab: $\alpha = 0,05612$, $t_1 = 27$ und $t = 26,4$, welches einer Ammoniakmenge entspricht, die 0,0034578 Salpeter aequivalent ist und die daher von der in einem Maafscylinder gefundenen Salpetermenge abgezogen werden muß. Ein Maafscylinder gab aber bei dem Versuch $\alpha = 0,05612$, $t_1 = 46,6$, $t = 23,3$, was 0,077808 Grm. oder nach Abzug der obigen 0,003458 Grm. einem Salpetergehalt von 0,07435 Grm. entspricht.

8. *Kohlensaures Kali und Kalihydrat*. Ein Maafscylinder gab 0,1124 Grm. $\ddot{\text{C}}$ und 0,2240 Grm. Mn_3O_4 . Diese 0,1124 Grm. $\ddot{\text{C}}$ entsprechen nach Abzug des dem kohlensauren Ammoniak in (7) aequivalenten kohlensauren Kalis 0,3531 Grm. kohlensaurem Kali, welche 0,19539 Mn_3O_4 aequivalent sind. Diese 0,19539 Grm., von jenen 0,2240 Grm. abgezogen, lassen 0,02860 Grm. Mn_3O_4 , welche 0,03515 Grm. Ka aequivalent sind. Da die dem gefundenen Schwefelkalium aequivalente Menge Kali 0,03635 Grm. beträgt, so ist anzunehmen, daß die untersuchte Masse kein Kalihydrat enthielt.

In einem Maafscylinder sind daher enthalten:

Schwefelsaures Kali	0,84463	entsprechend	0,45676 Kali
Kohlensaures Kali	0,25279	„	0,17233 „
Unterschwefligsaures Kali	0,06525	„	0,03232 „
Schwefelkalium	0,04255	„	0,03637 „
Kalihydrat	0,00000	„	0,00000 „
Rhodankalium	0,00611	„	0,00296 „
Salpeter	0,07435	„	0,03464 „
Kohle	0,01456		0,73538
Schwefel	0,00266		
Kohlensaures Ammoniak $(\text{NH}_4)_2\text{C}_3$	0,05709		
	<u>1,35999</u>		

Ein Maafscylinder gab 1,380 Grm. schwefelsaures Kali, welche 0,7463 Kali entsprechen, was mit dem aus der Analyse gefundenen Kaligehalt so genau, als man nur immer erwarten kann, übereinstimmt.

Das untersuchte Schiefspulver und die Producte, in die es bei dem Abbrennen zerfällt, haben daher folgende Zusammensetzung:

<i>A</i>		<i>B</i>	
Schiefspulver		Feste Verbrennungsproducte	
Salpeter	78,99	Schwefelsaures Kali	62,10
Schwefel	9,84	Kohlensaures Kali	18,58
Kohle {	Kohlenstoff	Unterschwefligsaures Kali	4,80
	VVasserstoff	Schwefelkalium	3,13
	Sauerstoff	Rhodankalium	0,45
	3,07	Salpetersaures Kali	5,47
	<u>100,00</u>	Kohle	1,07
		Schwefel	0,20
		$\frac{2}{3}$ kohlensaures Ammoniak	4,20
			<u>100,00</u>
<i>C</i>			
Gasförmige Verbrennungsproducte			
	Kohlensäure	52,67	
	Stickstoff	41,12	
	Kohlenoxyd	3,88	
	VVasserstoff	1,21	
	Schwefelwasserstoff	0,60	
	Sauerstoff	0,52	
	Stickoxydul	0,00	
		<u>100,00.</u>	

Da sich der gesammte Kaliumgehalt des Schiefspulvers in dem festen Verbrennungsproducte wiederfindet, so läßt sich aus den Analysen *A* und *B* die Menge des festen Rückstandes berechnen, welche bei dem Abbrennen von 1 Grm. Pulver erhalten wird. 1 Grm. Pulver enthält nämlich nach Analyse *A* 0,3055 Grm. Kalium; die Menge Rückstand von der Zusammensetzung der Analyse *B*, welche eben so viel Kalium enthält, beträgt aber 0,6806. Grm.

Berechnet man den Stickstoffgehalt, welcher in diesen 0,6806 Grm. Rückstand enthalten ist, und zieht man denselben von dem in 1 Grm. Pulver vorhandenen Stickstoff

ab, so erhält man die Menge Stickstoff, welche sich in den von einem Gramm Pulver stammenden Gasen findet. Die Gasmenge, welche nach Analyse *C* diesem so berechneten Stickstoff entspricht, wiegt 0,3138 Grm. 1 Grm. des untersuchten Schießpulvers zerfällt daher bei dem Abbrennen in 0,6806 Grm. Rückstand von der Zusammensetzung *B*, und in 0,3138 Grm. Gase von der Zusammensetzung *C*.

Die Umsetzung, welche das Schießpulver bei dem Abbrennen erlitten hat, läßt sich daher durch folgendes Schema ausdrücken:

		<i>D.</i>	
1 Grm. Pulver	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Salpeter } 0,7899 \\ \text{Schwefel } 0,0984 \\ \text{Kohle } \left\{ \begin{array}{l} \text{C } 0,0769 \\ \text{H } 0,0041 \\ \text{O } 0,0307 \end{array} \right. \end{array} \right. \begin{array}{l} \text{giebt} \\ \text{ver-} \\ \text{brannt} \end{array}$	Rückstand 0,6806	$\left\{ \begin{array}{l} \text{K } \ddot{\text{S}} \quad 0,4227 \\ \text{K } \ddot{\text{C}} \quad 0,1264 \\ \text{K } \ddot{\text{S}} \quad 0,0327 \\ \text{K S} \quad 0,0213 \\ \text{K Cy S}_2 \quad 0,0030 \\ \text{K } \ddot{\text{N}} \quad 0,0372 \\ \text{C} \quad 0,0073 \\ \text{S} \quad 0,0014 \\ (\text{NH}_4)_2\text{C}_3 \quad 0,0286 \end{array} \right.$
			$\left\{ \begin{array}{l} \text{N } 0,0938 = 79,40 \text{ Cbc.} \\ \ddot{\text{C}} \quad 0,2012 = 101,71 \text{ } \\ \ddot{\text{C}} \quad 0,0094 = 7,49 \text{ } \\ \text{H} \quad 0,0002 = 2,34 \text{ } \\ \text{HS} \quad 0,0018 = 1,16 \text{ } \\ \text{O} \quad 0,0014 = 1,00 \text{ } \end{array} \right.$
			193,10 Cbc.
		Gase	$\left\{ \begin{array}{l} 0,3138 \\ 0,9944 \end{array} \right.$

Bei analytischen Versuchen pflegt man gewöhnlich als Controle die Uebereinstimmung des Gewichts der gefundenen Bestandtheile mit dem Gewichte der zur Analyse verwandten Substanz zu benutzen. Diese Controle ist bei unseren Versuchen nicht anwendbar, da die Menge des zur Analyse verwandten Pulverrückstandes nicht gewogen wurde. Dagegen hat man dadurch eine andere gleich sichere Controle, daß sich die in 1 Grm. Pulver enthaltenen Mengen Ka, N, S, C, O nahezu in unveränderter Menge in den Verbrennungsproducten wiederfinden müssen. Eine solche Vergleichung giebt für unsere Analyse:

Im unverbrannten Pulver:

K 0,3050; N=0,1096; S=0,0984; C=0,0769; O=0,4057

Im verbrannten Pulver:

K 0,3050; N=0,1096; S=0,0989; C=0,0780; O=0,3936

Die Uebereinstimmung der beiden Mengen von Kali und Stickstoff, aus denen die Bedingungsgleichungen zur Berechnung des obigen Schemas hergenommen sind, dienen als Probe für die Richtigkeit der Rechnung; die Uebereinstimmung der drei Mengen von Schwefel, Kohle und Sauerstoff als eben so viele Beweise für die Genauigkeit der Versuche.

Aus dem Zersetzungsschema geht hervor, daß 1 Grm. Pulver bei dem Abbrennen 193,1 Cubc. Gas liefert. Die Menge, welche nach der bisherigen Theorie erhalten werden mußte, beträgt 330,9 Cubc., also über ein Drittel mehr.

Nachdem wir die Umsetzung, auf welcher die Verbrennung des Schießpulvers beruht, festgestellt haben, bedarf es nur noch einer Bestimmung der Flammentemperatur, um alle Elemente zu erhalten, aus denen sich ein theoretisches Maass für die bei der Pulververbrennung geleistete Arbeit ableiten läßt. Wir haben uns daher noch mit der fünften im Eingange unserer Arbeit aufgeworfenen, die Verbrennungstemperatur des Schießpulvers betreffenden, Frage zu beschäftigen. Um zur Lösung derselben einen sicheren Anhaltspunkt zu gewinnen, müssen wir uns zunächst eine richtige Vorstellung über die Natur der Pulverflamme bilden. Denkt man sich 1 Grm. Pulver gleichzeitig durch seine ganze Masse verbrannt, so werden w Wärmeeinheiten frei, durch welche die Umsetzungsproducte des verbrannten Gramms Pulver im Momente der Verbrennung auf $\frac{w}{s}$ Grad erhitzt werden, in welchem Quotienten s die mit Wasser verglichene specifische Wärme der Verbrennungsproducte des Pulvers bedeutet. Dieser Quotient $\frac{w}{s}$ ist daher die Flammentemperatur, gemessen durch die der Verbrennungswärme w zum Grunde liegende thermometrische Einheit.

Die Flammentemperatur erleidet aber in der Wirklichkeit eine stetige Erniedrigung, die durch Wärmestrahlung und Wärmeimtheilung veranlaßt wird. Da mithin die Flammentemperatur $\frac{w}{s}$ nur einen unendlich kleinen Zeittheil constant bleibt, so ist sie durch die gewöhnlichen thermometrischen Mittel nicht meßbar. Ganz gleiche Vorgänge finden bei der stetig brennenden Sprühflamme des eingestampften Pulvers statt. Hier besteht zwar eine während der ganzen Dauer der Verbrennung constante Flammentemperatur $\frac{w}{s}$, allein diese Temperatur beschränkt sich nur auf die verschwindend kleine in der Entzündung begriffene Schicht und nimmt von dieser aus durch Strahlung und Wärmeleitung nach der Spitze der Flamme hin in einem stetigen Verhältniß ab. Will man daher die von dem Verbrennungsproceß allein bedingte und nicht die von fremden Einflüssen veränderte Flammentemperatur erhalten, so muß man dieselbe aus den Größen w und s berechnen. Da w , die Verbrennungswärme des Schießpulvers, unbekannt ist, so haben wir dieselbe auf folgende Weise bestimmt: *A* (Fig. 4, Taf. IV) ist eine messingene Röhre, die mit einer eingestampften Masse fein zerriebenen Pulvers von bekanntem Gewicht p angefüllt ist. In den etwas erweiterten Ansatz a dieser Röhre ist ein gläserner Ansatz b eingekittet, an welchen zwei Platindrähte cc eingeschmolzen sind, die durch einen die Pulvermasse berührenden haarförmigen Platindraht in leitender Verbindung mit einander stehen. Dieser kleine Apparat *A* wird in das unten verschlossene, oben offene, Glasrohr *B* und dieses mit dem darin befindlichen Apparate auf den Boden der weiten, oben noch nicht zugeblasenen, bei dd mit zwei feinen Oeffnungen versehenen weiteren Glasröhre *C* herabgelassen. Nachdem darauf die Drähte cc durch die Oeffnungen dd nach außen geführt sind, werden dieselben vor der Lampe luftdicht eingeschmolzen und darauf auch das obere Ende der Röhre *C* bei e hermetisch vor der Lampe

verschlossen. Die Röhre *C* hat unten einen angeblasenen Zapfen, mit dem sie senkrecht in den Kork *E* festgesteckt wird. Vermittelst dieses Korkes *E* stellt man die ganze Vorrichtung in die nur zur Hälfte auf der Zeichnung angegebene weite Röhre *D*, welche aus dem feinsten Messingblech besteht und in welcher sich eine siebförmige Rührvorrichtung befindet, die von aussen durch die feinen Drähte *gg* auf- und abbewegt werden kann. Der so vorberechtete Apparat, dessen gläserne, messingene und platinene Theile dem Gewichte nach bestimmt sind, wird nun bis über die Spitze mit einer ebenfalls gewogenen Menge Wasser gefüllt und von einem hölzernen Kasten umschlossen an einem dem Temperaturwechsel unzugänglichen Orte bis zu einer möglichst vollständigen Temperatúrausgleichung sich selbst überlassen.

Um mit diesem Apparate die Verbrennungswärme des Pulvers zu bestimmen, bedarf man folgender Zeit- und Thermometerbeobachtungen, welche letzteren an der unmittelbar bis auf $\frac{1}{100}$ Centesimalgrad ablesbaren Scale des in der seitlichen Ausweitung des blechernen Wassergefäßes befindlichen Thermometers *K* vollführt werden.

Man beobachtet zunächst die Temperatur für die Zeiten t_0 und t_1 , entzündet das Pulver mittelst der galvanischen Leitung *cc*, indem man die Zeit $t_2 - t_1$, welche von der letzten Beobachtung bis zum Eintritt der Entzündung verfloss, notirt, und beobachtet die Zeit $t_3 - t_2$, bis zu welcher das genau am Thermometer abgelesene Maximum, der Erwärmung eintritt. Endlich hat man noch die von dem Temperaturmaximum an gerechneten Zeiten t_4 und t_5 und die denselben zugehörigen abnehmenden Temperaturen zu beobachten. Während der ganzen Dauer der Versuche wird die Flüssigkeit mittelst der Rührvorrichtung in Bewegung erhalten.

Ein mit großer Sorgfalt auf diese Weise ausgeführter Versuch gab folgende Werthe zur Berechnung von w :

	Beobachtete Zeit t	Beobachtete Thermometerstände
	0'	19,86
	5'	19,83
	6'	19,83
Entzündung	7'	
Temperaturmaximum	16'	21,10
	26'	20,98
	56'	20,60

Die Gewichte der einzelnen Bestandtheile des Apparates waren:

Gewicht des Glases	79,14	Grm.
„ „ Messings	132,11	„
„ „ Platins	3,50	„
„ „ Schiefspulvers	0,7125	„
„ „ Wassers	376,40	„

Der Wasserwerth aller dieser Gewichte zusammengekommen entspricht 404,7 Grm. Die Erhitzung dieser 404,7 Grm. Wasser durch die gesammte bei der Verbrennung von 0,7125 Grm. Schiefspulver entwickelte Wärme ist $1^{\circ},14$ C.

Die Verbrennungswärme des zu unseren Versuchen benutzten Jagd- und Scheibenpulvers, d. h. die Erhitzung in Centesimalgraden, welche ein Gewichtstheil abbrennenden Pulvers in einem gleichen Gewichtstheil Wasser erzeugt, beträgt daher $643,9$ C.

Die so gefundene Zahl bedarf noch einer kleinen Correction. Da nämlich die Verbrennung des zu dem Versuch benutzten 0,7125 Grm. Pulvers in dem mit Luft gefüllten Raum des hermetisch verschlossenen Verbrennungsrohrs vor sich ging, so mußten die bei dem Abbrennen entwickelten entzündlichen gasförmigen Zersetzungsproducte verbrennen und dadurch eine kleine Menge Wärme erzeugen, die der eigentlichen Pulverzersetzung fremd ist. Zu Folge des Schemas *D* gaben die zu dem Versuche verwandten 0,7125 Grm. Pulver

0,00669 Grm. Kohlenoxydgas

0,00014 „ Wasserstoff

0,00128 „ Schwefelwasserstoff.

Nimmt man mit Favre und Silbermann die Verbrennungswärme dieser drei Gemengtheile der Reihe nach zu 2403, 34462 und 2741 an, so beträgt die durch ihre Verbrennung erzeugte auf ein Gramm Wasser bezogene Wärmemenge $24^{\circ},4$, um welche daher jenen $643^{\circ},9$ zu verringern sind. Die wirkliche Verbrennungswärme ist daher

$619^{\circ},5$ C.

Die Wärme dagegen, welche durch den im hermetisch verschlossenen Verbrennungsgefäße vermehrten Gasdruck erzeugt wurde, kann bei dem Versuche füglich als verschwindend klein vernachlässigt werden.

Berechnet man die Verbrennungswärme des Schießpulvers unter der Voraussetzung, daß dessen verbrennliche Bestandtheile mit freiem Sauerstoff verbrennen, so erhält man mit Zugrundelegung der von Favre und Silbermann gefundenen Verbrennungswärme des Schwefels, der Kohle und des Wasserstoffs die Zahl

$1039^{\circ},1$ C.

Die durch den Sauerstoff des Salpeters oxydirten Pulverbestandtheile geben daher viel weniger Wärme als bei ihrer Verbrennung mit freiem Sauerstoff. Diese Thatsache kann keineswegs befremden, wenn man erwägt, daß der ganze ungefähr $\frac{2}{3}$ vom Gewichte der brennbaren Pulvergemengtheile betragende Stickstoff bei seiner Umwandlung in Gas eine bedeutende Wärmemenge binden muß.

Die Flammentemperatur des Pulvers oder die Temperatur, welche in der brennenden Masse desselben herrschen würde, wenn keine Wärme durch Strahlung oder Leitung verloren ginge, ergibt sich unmittelbar durch Division der Zahl $619,5$ mit der specifischen Wärme der Verbrennungsproducte des Pulvers. Diese specifische Wärme läßt sich aber aus den im Schema *D* angegebenen Bestandtheilen, welche in 1 Grm. abgebrannten Pulvers enthalten sind,

berechnen, wenn man die in Columnne *b* der folgenden Zusammenstellung angegebenen specifischen Wärmen mit den entsprechenden in der ersten Columnne *a* angegebenen Gewichten multiplicirt und die so erhaltenen Zahlen addirt, wobei die kleinen Mengen $\text{K}\ddot{\text{S}}$, KCyS_2 , $(\text{NH}_4)_2\ddot{\text{C}}_3$ und HS , deren specifische Wärme nicht bekannt ist, unberücksichtigt gelassen sind, da ihr Einfluss sich erst in einer Ziffer des gesuchten Zahlenwerthes geltend macht, welche ohne erheblichen Fehler aufser Acht gelassen werden kann.

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i> × <i>b</i>
Schwefelsaures Kali	0,4554	— 0,1901	0,08656
Kohlensaures Kali	0,1362	— 0,2162	0,02944
Schwefelkalium	0,0229	— 0,1081	0,00248
Salpeter	0,0401	— 0,2388	0,00957
Kohle	0,0079	— 0,2411	0,00190
Schwefel	0,0015	— 0,7026	0,00031
Stickstoff	0,1075	— 0,2440	0,02623
Kohlensäure	0,2167	— 0,2164	0,04692
Kohlenoxyd	0,0101	— 0,2479	0,00251
Wasserstoff	0,0002	— 3,4046	0,00073
Sauerstoff	0,0015	— 0,2182	0,00033
	<hr/> 1,0000		<hr/> 0,20698

Dividirt man die Zahl 619,5 durch 0,207, so erhält man für die Temperatur der Flamme des frei in der Luft verbrennenden Pulvers

2993° C.

Verbrennt das Pulver in einem geschlossenen Raume, in welchem sich die Gase nicht ausdehnen können, so wird die Temperatur der Flamme eine andere. Man erhält diese Temperatur, wenn man die Verbrennungswärme durch die specifische Wärme bei constantem Volumen dividirt. Die letztere ergibt sich aber durch folgende der obigen ähnliche Rechnung:

	a_1	b_1	$a_1 b_1$
Schwefelsaures Kali	0,4554	0,1901	0,08656
Kohlensaures Kali	0,1362	0,2162	0,02944
Schwefelkalium	0,0229	0,1081	0,00248
Salpeter	0,0401	0,2388	0,00957
Kohle	0,0079	0,2411	0,00191
Schwefel	0,0015	0,2026	0,00031
Stickstoff	0,1075	0,2440	0,01846
Kohlensäure	0,2167	0,2164	0,03426
Kohlenoxyd	0,0101	0,2479	0,00177
Wasserstoff	0,0002	3,4046	0,00048
Sauerstoff	0,0015	0,2182	0,00023
			<hr/> 0,18547

$$\text{Flammentemperatur } \frac{619.5}{0.18547} = 3340^\circ.$$

Die Flammentemperatur des Pulvers, dessen Gase in einem geschlossenen Raume entstehen und sich nicht frei ausdehnen können, ist daher $\frac{619.5}{0.18547} = 3340^\circ \text{ C.}$

Bestände die Flamme des Pulvers nur aus glühenden gasförmigen Stoffen, deren Wärmecapacität, wie durch Regnault's Versuche und Clausius's theoretische Betrachtungen erwiesen ist, sich nicht mit der Temperatur ändert, so würde der Werth von $\frac{w}{s}$ mit aller Schärfe zu bestimmen seyn. Da aber die specifische Wärme der festen Körper mit der Temperatur zunimmt, so können die gefundenen Zahlen 2993° und 3340° nur als Näherungswerthe gelten, die indessen nach Allem, was wir über die Gröfse der Zunahme der specifischen Wärme mit der Temperatur wissen, nicht weit von der Wahrheit abliegen können. Da s mit der Temperatur wächst, so wurde $\frac{w}{s}$ zu groß gefunden, und da außerdem in der Wirklichkeit die Flammentemperatur stets durch Wärmestrahlung und Leitung erniedrigt wird, so kann man immerhin unter allen Umständen mit Gewifsheit annehmen, daß die Temperaturen 3340° und 2993° einen Gränzwertb darstellen, dem

sich die Temperatur der Pulverflamme mehr oder weniger nähert, den sie aber in der Wirklichkeit niemals völlig erreichen oder überschreiten kann. Aus dieser Thatsache läßt sich ein wichtiger Schluß auf die GröÙe des Druckes machen, der bei der Explosion des Pulvers in dem von demselben gravimetrisch erfüllten Raume ausgeübt wird.

Man hat bisher allgemein angenommen, daß der Rückstand während der Verbrennung des Pulvers in Dampfgestalt auftrete und durch seine Tension auf das Wesentlichste die mechanischen Wirkungen des Pulvers mitbedinge. Obwohl eine geringe Verflüchtigung dieses Rückstandes nicht geläugnet werden kann, so läßt sich doch mit Hülfe der eben berechneten Flammentemperatur leicht zeigen, daß die durch eine solche Verflüchtigung bewirkte Tension nicht einen Atmosphärendruck betragen kann. Die Flammentemperatur des mit Luft verbrennenden Wasserstoffs beträgt 3259°C. ¹⁾. Eine aus Pulverrückstand an einen haardicken Platindraht angeschmolzene Perle verflüchtigte sich zwar allmählich vollkommen in einer in Luft verbrennenden Wasserstoffflamme, allein sie geräth dabei nicht ins Kochen und ihre Dampftension kann daher niemals den Druck von nur einer Atmosphäre erreichen. Der Druck, welchen die Dämpfe der festen Zersetzungsproducte des Pulvers in Temperaturen von 2993° und 3340° ausüben, kann daher nur ein verschwindend kleiner seyn und füglich vernachlässigt werden. Es ist dadurch die Möglichkeit gegeben, aus unseren Versuchen das Druckmaximum zu berechnen, das bei der Verbrennung des Pulvers in einem geschlossenen Raume noch ausgeübt, aber niemals überschritten werden kann.

Nennt man das Gewicht Pulver G , die gravimetrische²⁾ Dichtigkeit desselben S , das Gewicht des aus diesen G Pulver erhaltenen Rückstandes G_r , die Dichtigkeit dieses Rückstandes bei 3340°C. S_r , und das Volumen der aus

1) Gasometrische Methoden von R. Bunsen, S. 254.

2) Dieser Ausdruck bezeichnet in der Artillerie das Gewicht eines Cubikcentimeters Pulverkörner.

jenen G_p erhaltenen bei 0°C. und ein Atmosphärendruck gemessenen Gase V , nennt man ferner die Temperatur der in einem verschlossenen Raum brennenden Pulverflamme t , so ergibt sich der Druck p^0 , welchen das Pulver, wenn es in dem von ihm erfüllten für Wärme undurchdringlich gedachten Raume $\frac{G_p}{S_p}$ abbrennt, aus folgender Gleichung:

$$p_0 = \frac{V(1 + 0,00366 \cdot t)}{\frac{G_p}{S_p} - \frac{G_r}{S_r}}$$

In dieser Gleichung ist nur eine Gröfse, deren Bestimmung einige Schwierigkeit darbietet, nämlich S_r oder das specifische Gewicht des bei der Temperatur der Pulverflamme (3340°C.) geschmolzenen Pulverrückstandes. Wir haben dieses specifische Gewicht nach einer noch nicht publicirten Methode bestimmt, welche Einer von uns benutzt hat, um die Verflüchtigung und Ausdehnung von in sehr hohen Temperaturen geschmolzenen Gebirgsarten unabhängig von der Ausdehnung umschliessender Gefäße zu bestimmen. Ein nach dieser Methode ausgeführter Versuch gab mit einer zwar nur angenäherten, aber vollkommen für unsere Zwecke ausreichenden Genauigkeit für das specifische Gewicht des Pulverrückstandes

bei 18°C. 2,350

bei 2808°C. 1,520.

Daraus erhält man durch Interpolation für das specifische Gewicht des Pulverrückstandes bei 3340°C. $S_r = 1,50$. Die Werthe der in der Formel vorkommenden Gröfßen sind daher für das von uns untersuchte Pulver:

$G_p = 1,000 \text{ Grm.}$

$S_p = 0,964 \quad "$

$G_r = 0,6806 \quad "$

$S_r = 1,50 \quad "$

$V = 193,1 \text{ Cbc.}$

$t = 3340^\circ \text{C.}$

Durch Substitution derselben in die Formel ergibt sich für p_0 der Werth:

4373,6.

Berechnet man den Druck mit Zugrundelegung des specifischen Gewichts des Pulverrückstandes bei gewöhnlicher Temperatur (2,35), so ergibt sich für p_0 der Werth 3414,6. Es kommen also von den gefundenen 4374 Atmosphären ungefähr 1000 auf die durch Erhitzung bewirkte Ausdehnung des Pulverrückstandes.

Ein Pulver von der Zusammensetzung des von uns benutzten, welches in einem Geschützlaufe hinter dem Geschosse explodiren und dabei die eben nachgewiesene Zersetzung erleiden würde, kann daher in Folge des bei der Verbrennung unvermeidlichen Wärmeverlustes niemals einen Druck auf die Geschützwandung ausüben, der eine Höhe von fünfthalbtausend Atmosphären erreicht. Ob in der Zersetzungsweise des Pulvers wesentliche Aenderungen eintreten, wenn dasselbe frei oder unter hohem Druck im Geschützlaufe abbrennt, wird sich aus der Zusammensetzung des in solchen Geschützen abgesetzten Rückstandes und der dort entwickelten, leicht aufzufangenden Gase leicht ermitteln lassen. Zeigt es sich, daß unter diesen Umständen die Zersetzungsweise im Wesentlichen dieselbe bleibt, so müssen manche der bisherigen Annahmen über den Druck der Pulvergase in Geschützen auf sehr fehlerhaften Voraussetzungen beruhen, denn die besten artilleristischen Schriftsteller geben diesen Druck bis zu 50000 ja bis über 100000 ¹⁾ Atmosphären an.

Die mitgetheilten Versuche geben zugleich ein Mittel an die Hand, das Maximum des mechanischen Effects, d. h. die theoretische Arbeit des Pulvers zu bestimmen, welche dasselbe leistet, wenn sich dessen Gase unter dem ihrem jedesmaligen Volumen entsprechenden Drucke in einem für Wärme undurchdringlich gedachten Raume ausdehnen. Es sey a_1, a_3, a_3, a_1 (Fig. 5, Taf. IV) der von dem Pulver G_p erfüllte Raum, a_2, a_3, a_3, a_2 das vom Pulverrückstand G_r und a_1, a_2, a_2, a_1 das von den Pulvergases im Augenblicke der Verbrennung erfüllte Volumen $v_0 = \frac{G_p}{s_p} - \frac{G_r}{s_r}$, worin

1) *Piobert, Traité d'artillerie, 1847, p. 322.*

der eben bestimmte Druck p herrscht; es sey endlich $aa_2 a_2 a$ der Raum, welchen die Gase einnehmen, nachdem sie sich bis zu dem Drucke p_1 ausgedehnt haben. Nennt man ferner die unendlich kleine Volumenvergrößerung des Gases $ca_2 a_2 c$, so ist die während dieser Ausdehnung unter dem Drucke p_0 geleistete Arbeit $p_0 dv$, und die gesammte Arbeit, welche das Gas bei der gesammten Ausdehnung leistet,

$$\text{Arbeit} = \int_{v_0}^{\infty} p dv.$$

Unter der Voraussetzung, daß ein Gas sich in einer für Wärme undurchdringlichen Hülle ausdehnt, ist aber, wenn p_0 den zu v_0 gehörigen Druck bedeutet ¹⁾.

$$p = p_0 \left(\frac{v_0}{v} \right)^K,$$

wo K das Verhältniß der specifischen Wärme des Gases bei constantem Druck und constantem Volumen bedeutet; es folgt daraus jenes Integral:

$$\text{Arbeit} = \frac{p_0 v_0}{K-1}.$$

Ein Gramm des von uns benutzten Pulvers giebt für $v_0 = \frac{G_p}{s_p} - \frac{G_r}{s_r}$ 0,5836 Cubc. und für p_0 $1029,8 \times 4373,6$ Grm. K ergibt sich aus der Zusammensetzung des untersuchten Pulvergases zu 1,39. Ein Kilogramm unseres Pulvers leistet daher, wenn es die oben angegebene Zersetzung erleidet, eine theoretische Arbeit von 67410 Meterkilogramm.

1) *Poisson, Mech. II, p. 647.* *Clausius, Pogg. Annal. Bd. 79- S. 396.*

II. Ueber die Ringsysteme der zweiaxigen Krystalle; von Dr. J. Zech.

In diesen Annalen (Bd. 97, S. 129) habe ich die Gleichung der isochromatischen Curven eines zweiaxigen Krystalls aufgestellt, wenn seine Gränzebenen senkrecht zu einer Elasticitätsaxe sind. Die Phasendifferenz der zwei aus einem einfallenden Strahl entstehenden gebrochenen Strahlen habe ich dort durch die Formel bestimmt:

$$\Delta = (p_2 - p_1)d,$$

d. h. die Phasendifferenz in Zeit ausgedrückt ist gleich der Dicke des Krystalls multiplicirt mit der Differenz der reciproken Längen, welche die gebrochenen ebenen Wellen nach der Zeiteinheit auf der Normale im Einfallspunkt von diesem aus abschneiden.

Diese Formel gilt, wie man aus der Herleitung sieht, für eine Platte mit parallelen Gränzflächen ganz beliebiger Richtung. Vermittelst derselben findet sich auf dem kürzesten Wege Ohm's genäherte Formel für einaxige Krystalle; sie giebt aber auch die genaue Gleichung für einaxige Krystalle ohne Annäherung und zeigt, daß diese Gleichung vom vierten Grade ist.

Handelt es sich um einen zweiaxigen Krystall, der zu keiner Elasticitätsaxe senkrecht geschliffen ist, so erhält man die Werthe von p aus einer Gleichung vom vierten Grad, welche auch die ungeraden Potenzen von p enthält. Wie man in diesem Falle zu verfahren habe, ist Gegenstand dieser Abhandlung.

Die Gleichung der Wellenfläche, auf die Elasticitätsaxen als Coordinatenaxen bezogen, ist:

$$(x^2 + y^2 + z^2)(b^2 x^2 + b^2 y^2 + c^2 z^2) - a^2(b^2 + c^2)x^2 \\ - b^2(c^2 + a^2)y^2 - c^2(a^2 + b^2)z^2 + a^2 b^2 c^2 = 0.$$

Für negative Krystalle liegen die optischen Axen näher an der Axe der z , für positive näher an der Axe der x , für beide in der Ebene der xz .

Welche Lagen auch die Gränzebenen haben, man kann immer ein Coordinatensystem so wählen, daß die untere Gränzebene Ebene der xy ist und eine Elasticitätsaxe in die Ebene der xz fällt. Die Coordinaten des neuen Systemes seyen X, Y, Z .

Um von den Elasticitätsaxen zu den neuen Axen überzugehen, denke man sich das erste System um die Axe der z von der positiven Axe der x zur positiven der y um den Winkel φ gedreht, und nachher um die neue Axe der Y von der positiven Axe der X zur positiven Axe der z um den Winkel χ . Dann ist:

$$\begin{aligned}(1) \quad x &= X \cos \varphi \cos \chi - Y \sin \varphi - Z \cos \varphi \sin \chi; \\ y &= X \sin \varphi \cos \chi + Y \cos \varphi - Z \sin \varphi \sin \chi; \\ z &= X \sin \chi + Z \cos \chi.\end{aligned}$$

Durch Substitution dieser Werthe in die Gleichung der Wellenfläche erhält man ihre Gleichung für das neue System.

Ist i der Einfallswinkel, w das Azimuth eines einfallenden Strahls (von der positiven Axe der X zur positiven der Y gezählt von 0 bis 360°), u die Geschwindigkeit des Lichts im umgebenden Mittel; ferner:

$$m = \frac{1}{u} \sin i \cos w, \quad n = \frac{1}{u} \sin i \sin w,$$

so ist:

$$(2) \quad mX + nY + pZ = 1.$$

Die Gleichung der gebrochenen Welle nach der Zeiteinheit, die Zeit von dem Augenblick gerechnet, wo der Strahl die untere Gränzfläche trifft, und vorausgesetzt, daß die gebrochene Welle die Wellenfläche berühre. Diefes ist der Fall, wenn ihr Pol für das Ellipsoid:

$$\frac{x^2}{bc} + \frac{y^2}{ca} + \frac{z^2}{ab} = 1,$$

wo für x, y, z die Werthe (1) zu substituiren sind, auf der Wellenfläche liegt. Dieser Pol sey $X'Y'Z'$ und mit $x'y'z'$ bezeichne man die Werthe von x, y, z , nachdem man $X'Y'Z'$

statt XYZ gesetzt hat. Dann ist die Polarebene von $X'Y'Z'$ für das Ellipsoid:

$$\frac{xx'}{bc} + \frac{yy'}{ca} + \frac{zz'}{ab} = 1,$$

und diese Ebene muß mit der Ebene 2) identisch seyn, also hat man nach Substitution der Werthe von xyz :

$$m = \frac{x'}{bc} \cos \varphi \cos \chi + \frac{y'}{ca} \sin \varphi \cos \chi + \frac{z'}{ab} \sin \chi,$$

$$n = -\frac{x'}{bc} \sin \varphi + \frac{y'}{ca} \cos \varphi$$

$$p = -\frac{x'}{bc} \cos \varphi \sin \chi - \frac{y'}{ca} \sin \varphi \sin \chi + \frac{z'}{ab} \cos \chi,$$

woraus sich ergibt:

$$x' = bc(m \cos \varphi \cos \chi - n \sin \varphi - p \cos \varphi \sin \chi),$$

$$y' = ca(m \sin \varphi \cos \chi + n \cos \varphi - p \sin \varphi \sin \chi)$$

$$z' = ab(m \sin \chi + p \cos \chi).$$

Weil $X'Y'Z'$ auf der Wellenfläche liegt, so passen die Werthe von $x'y'z'$ in die ursprüngliche Gleichung der Wellenfläche statt xyz .

Bei der Substitution vernachlässige man die dritte und die höheren Potenzen von $\sin i$, also auch m^3 , n^3 , m^2n u. s. w. Setzt man dann:

$$r^2 = a^2 \sin^2 \varphi + b^2 \cos^2 \varphi \quad s = a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi$$

$$A = a^2 b^2 \cos^2 \chi + r^2 c^2 \sin^2 \chi$$

$$B = (a^2 + b^2) \cos^2 \chi + (r^2 + c^2) \sin^2 \chi$$

$$C = a^2 b^2 \sin^2 \chi + r^2 c^2 \cos^2 \chi$$

$$D = (a^2 + b^2) \sin^2 \chi + (r^2 + c^2) \cos^2 \chi$$

so erhält man:

$$\begin{aligned} & Ap^4 + p^3 [m \sin 2\chi (a^2 b^2 - c^2 r^2) + n \sin 2\varphi \sin \chi c^2 (b^2 - a^2)] \\ & - p^2 [B - (a^2 b^2 + c^2 r^2) m^2 - (A + c^2 s^2) n^2 \\ & + mn \sin 2\varphi \cos \chi c^2 (b^2 - a^2)] + p [m \sin 2\chi (c^2 - s^2) \\ & - n \sin 2\varphi \sin \chi (b^2 - a^2)] + 1 - D m^2 - (c^2 + s^2) n^2 \\ & + mn \sin 2\varphi \cos \chi (b^2 - a^2) = 0, \end{aligned}$$

oder der Kürze halber:

$$p^4 + fp^3 - gp^2 + hp + i = 0.$$

Diese Gleichung vom vierten Grade löse man nach der gewöhnlichen Regel auf und zwar zunächst mit Vernachlässigung der zweiten und höheren Potenzen von f und h .

Setzt man $p = P - \frac{1}{4}f$, so findet sich:

$$P^4 - gP^2 + (h + \frac{1}{2}gf)P + i = 0.$$

Sucht man diesen Ausdruck in zwei Factoren zu zerlegen:

$$(P^2 + \alpha P + \beta)(P^2 + \gamma P + \delta) = 0,$$

so ergibt sich für γ die Gleichung:

$$\gamma^6 - 2g\gamma^4 + (g^2 - 4i)\gamma^2 = 0,$$

$\gamma^2 = 0$ ist nicht zu brauchen, da dann auch α der Null gleich wäre; $\gamma^2 = g - 2\sqrt{i}$ ist nicht zu brauchen, weil der Ausdruck für kleine m und n negativ ist. Es bleibt also:

$$\gamma = \sqrt{g + 2\sqrt{i}}, \text{ und dazu gehört: } \alpha = -\sqrt{g + 2\sqrt{i}}$$

$$\beta = \sqrt{i} + \frac{1}{4} \frac{2h + fg}{\sqrt{g + 2\sqrt{i}}}, \quad \delta = \sqrt{i} - \frac{1}{4} \frac{2h + fg}{\sqrt{g + 2\sqrt{i}}}$$

also:

$$2P = \sqrt{g + 2\sqrt{i}} \pm \sqrt{g - 2\sqrt{i}} - \frac{2h + fg}{\sqrt{g + 2\sqrt{i}}}$$

wobei $\sqrt{g + 2\sqrt{i}}$ positiv oder negativ seyn kann. Man überzeugt sich leicht, daß $(g + 2\sqrt{i})$ sehr groß ist gegenüber von $(g - 2\sqrt{i})$, woraus folgt, daß die zwei positiven Werthe von P , die allein gebraucht werden, diejenigen sind, in welchen $\sqrt{g + 2\sqrt{i}}$ positiv ist.

Allein hiebei sind Glieder vernachlässigt, welche m^2 , n^2 und mn enthalten; der obige Werth von γ^2 wird noch einer Correction ε bedürfen, welche Funktion von f^2 und h^2 ist. Setzt man in die Gleichung vom vierten Grad $P - \frac{1}{4}f$ statt p , ohne f^2 und h^2 zu vernachlässigen, so erhält man:

$$P^4 - P^2(g + \frac{3}{8}f^2) + P(h + \frac{1}{2}fg) - \frac{1}{16}f^2g - \frac{1}{4}fh + i = 0$$

und sucht man diesen Ausdruck in zwei Factoren zu zerlegen:

$$(P^2 + \alpha'P + \beta')(P^2 + \gamma'P + \delta') = 0,$$

wo $\alpha' \beta' \gamma' \delta'$ die corrigirten $\alpha \beta \gamma \delta$ sind, so erhält man für γ'^2 oder $(\gamma^2 + \varepsilon)$ eine Gleichung vom dritten Grade und daraus:

$$\varepsilon = \frac{1}{4}f^2 + \frac{(h - f\sqrt{i})^2}{4\sqrt{i}(g + 2\sqrt{i})}$$

also:

$$\beta = \sqrt{i + \frac{1}{2}\varepsilon - \frac{1}{16}f^2} + \frac{1}{4} \frac{2h + fg}{\sqrt{g + 2\sqrt{i}}}$$

$$2P = \sqrt{g + 2\sqrt{i} + \varepsilon} \pm \sqrt{\left(g - 2\sqrt{i} - \varepsilon + \frac{1}{4}f^2 - \frac{2h + fg}{\sqrt{g + 2\sqrt{i}}}\right)}$$

$$P_2 - P_1 = p_2 - p_1 = \frac{A}{d} = \sqrt{\left(g - 2\sqrt{i} + \frac{1}{4}f^2 - \frac{2h + fg}{\sqrt{g + 2\sqrt{i}}} - \frac{(h - f\sqrt{i})^2}{4\sqrt{i}(g + 2\sqrt{i})}\right)}.$$

Setzt man endlich in diese Gleichung die Werthe von f, g, h, i , so ergibt sich die Gleichung:

$$A \frac{A}{d^2} = \mathfrak{A} + \mathfrak{B}m^2 + \mathfrak{C}mn + \mathfrak{D}n^2 + \mathfrak{E}m + \mathfrak{F}n,$$

wenn:

$$\mathfrak{A} = B - 2\sqrt{A}$$

$$\mathfrak{B} = D\sqrt{A} - (a^2b^2 + c^2r^2) + \frac{(a^2b^2 - c^2r^2)^2}{2A} \sin^2 2\chi \\ - \frac{[(c^2 - s^2)\sqrt{A} - a^2b^2 + c^2r^2]^2}{4\sqrt{A}(B + 2\sqrt{A})} \sin^2 2\chi$$

$$\mathfrak{C} = (b^2 - a^2) \sin 2\varphi \cos \chi \left(c^2 - \sqrt{A} + \frac{c}{A} (a^2b^2 - c^2r^2) \sin^2 \chi \right. \\ \left. - \frac{(c^2 + \sqrt{A})[a^2b^2 - c^2r^2 - (c^2 - s^2)\sqrt{A}]}{2\sqrt{A}(B + 2\sqrt{A})} \sin^2 \chi \right)$$

$$\mathfrak{D} = (c^2 + s^2)\sqrt{A} - (A + c^2s^2) + \frac{c^4}{2A} (b^2 - a^2)^2 \sin^2 2\varphi \sin^2 \chi \\ - \frac{(c^2 + \sqrt{A})^2}{4\sqrt{A}(B + 2\sqrt{A})} (b^2 - a^2)^2 \sin^2 2\varphi \sin^2 \chi$$

$$\mathfrak{E} = -\sin 2\chi \frac{2A(c^2 - s^2) + B(a^2b^2 - c^2r^2)}{\sqrt{A}\sqrt{B + 2\sqrt{A}}}$$

$$\mathfrak{F} = \sin 2\varphi \sin \chi (b^2 - a^2) \frac{2A - Bc^2}{\sqrt{A}\sqrt{B + 2\sqrt{A}}}.$$

Will man die Curven, wie sie dem Auge in der Entfernung k erscheinen, so ist (siehe die frühere Abhandlung):

$$m = \frac{x}{uk} \quad n = \frac{y}{uk}$$

also:

$$A u^2 k^2 \frac{d^2}{dx^2} = \mathfrak{A} u^2 k^2 + \mathfrak{B} x^2 + \mathfrak{C} xy + \mathfrak{D} y^2 + \mathfrak{E} ukx + \mathfrak{F} uk y.$$

Diese Gleichung vereinfacht sich bedeutend, wenn die Gränzebenen irgend einer Elasticitätsaxe parallel sind.

1) $\varphi = 0$. Die Gränzebenen parallel zur Perpendicularlinie, d. h. zu der Elasticitätsaxe; welche senkrecht zur Ebene der optischen Axen ist; dann ist:

$$s = a \quad r = b$$

und wenn man setzt:

$$\varrho^2 = c^2 \sin^2 \chi + a^2 \cos^2 \chi,$$

so ist:

$$A = b^2 \varrho^2, \quad B = b^2 + \varrho^2, \quad C = b^2 (a^2 + c^2 - \varrho^2),$$

$$D = a^2 + b^2 - \varrho^2,$$

und mit Berücksichtigung, dafs:

$$\sin^2 \chi = \frac{\varrho^2 - a^2}{c^2 - a^2}, \quad \cos^2 \chi = \frac{c^2 - \varrho^2}{c^2 - a^2}$$

ist, hat man:

$$\begin{aligned} (b^2 \varrho \frac{d^2}{dx^2} - (b - \varrho)^2) u^2 k^2 &= x^2 \frac{b}{\varrho}, [(b - \varrho)(b \varrho^2 - a^2 c^2) \\ &+ b(\varrho^2 - a^2)(c^2 - \varrho^2)] + y^2 (c^2 - b \varrho)(b \varrho - a^2) \\ &+ x u k b \frac{b - \varrho}{\varrho} (c^2 - a^2) \sin 2\chi. \end{aligned}$$

Diese Formel enthält zugleich die allgemeine Formel für einaxige Krystalle; denn weil bei diesen die Wellenfläche eine Drehungsfläche ist, so kann man stets $\varphi = 0$ annehmen. Setzt man $a = b$ und bestimmt $\frac{d}{dx}$ durch Wurzelauziehen, so erhält man Ohm's Formel mit etwas anderer Bezeichnung. Das Wurzelauziehen (natürlich mit Vernachlässigung der dritten und höhern Potenzen von x und y) ist in diesem Fall zulässig, weil alle Glieder mit x und y den Factor $(\varrho - a)$ oder $(\varrho - b)$ enthalten. In der allgemeinen Formel geht das Wurzelauziehen nicht, es würden dabei Glieder vernachlässigt, welche $(B - 2\sqrt{A})$ im Nenner enthalten; und $(B - 2\sqrt{A})$ kann unter Umständen sehr klein seyn bis zu Null herab.

Ist ausser $\varphi = 0$ auch $\chi = 0$, so ist $\varrho = a$, die Gränzebenen sind senkrecht zu einer Mittellinie und man erhält:

$$[a^2 b^2 \frac{d^2}{d^2} - (b-a)^2] u^2 k^2 = (bx^2 - ay^2)(b-a)ab - c^2)$$

die Gleichung einer *Hyperbel*, deren Axen sich wie $\sqrt{a} : \sqrt{b}$ verhalten.

Ist aufer $\varphi=0$ noch $\chi=R$, so ist $\varrho=c$, die Gränzebenen sind senkrecht zur andern Mittellinie und man erhält die *Hyperbel*:

$$[b^2 c^2 \frac{d^2}{d^2} - (c-b)^2] u^2 k^2 = (bx^2 - cy^2)(b-c)(bc - a^2).$$

Ist χ dem Winkel gleich, welchen eine Axe der inneren konischen Reflection mit der Mittellinie bildet, so ist $\varrho=b$, die Gränzebenen sind senkrecht zu dieser Axe, und man erhält den *Kreis*:

$$b^4 \frac{d^2}{d^2} u^2 k^2 = (x^2 + y^2)(b^2 - a^2)(c^2 - b^2).$$

Gerade Linien würde man erhalten, wenn:

$$b\varrho = a^2 \text{ oder } b\varrho = c^2.$$

Im ersten Fall wäre $\varrho < a$, im zweiten $\varrho > c$, also erhält man keine.

Parabeln entstehen, wenn:

$$(b-\varrho)(b\varrho^3 - a^2 c^2) + b(\varrho^2 - a^2)(c^2 - \varrho^2) = 0.$$

Diese Gleichung giebt zwei reelle Werthe, den einen zwischen a und b , den anderen zwischen b und c .

Die Resultate von I lassen sich so zusammenfassen:

Sind die Gränzebenen eines zweiaxigen Krystalls parallel zu der Perpendicularlinie und ändert sich ihre Stellung in der Art stetig, daß sie zuerst zu einer, zuletzt zur andern der Mittellinie senkrecht sind, so erhält man der Reihe nach Hyperbeln, Parabeln, Ellipsen, Kreise, Ellipsen, Parabeln, Hyperbeln.

II. Es sey $\varphi=R$, die Gränzebenen parallel zu einer Mittellinie, zur ersten bei den positiven, zur zweiten bei den negativen Krystallen.

$$s = b \quad r = a$$

und wenn:

$$\varrho^2 = c^2 \sin^2 \chi + b^2 \cos^2 \chi$$

ist,

$$A = a^2 \varrho^2, \quad B = a^2 + \varrho^2, \quad C = a^2 (b^2 + c^2 - \varrho^2), \\ D = a^2 + b^2 + c^2 - \varrho^2,$$

also:

$$\left[a^2 \varrho^2 \frac{d^2}{d^2} - (\varrho - a)^2 \right] u^2 k^2 = x^2 \frac{a}{\varrho} [(\varrho - a)(b^2 c^2 - a \varrho^3) \\ + a(\varrho^2 - b^2)(c^2 - \varrho^2)] + y^2 (b^2 - a \varrho)(a \varrho - c^2) \\ - x u k a \frac{\varrho - a}{\varrho} (c^2 - b^2) \sin 2\chi.$$

Ist außerdem $\chi = 0$ oder $\chi = \varrho$, so erhält man *Hyperbeln* mit den Axenverhältnissen $\sqrt{a} : \sqrt{b}$ und $\sqrt{a} : \sqrt{c}$.

Parabeln entstehen, wenn

$$(\varrho - a)(b^2 c^2 - a \varrho^3) + a(\varrho^2 - b^2)(c^2 - \varrho^2) = 0.$$

Dies gibt vier imaginäre Werthe, wenn $b^2 > ac$; ist aber $b^2 < ac$, so giebt die Gleichung einen Werth von ϱ zwischen a und b und einen zwischen b und c ; nur der letzte ist möglich.

Grade Linien entstehen, wenn

$$a \varrho = b^2 \text{ oder } a \varrho = c^2$$

Der zweite Fall giebt $\varrho > c$, was unmöglich ist, der erste giebt $\varrho = \frac{b^2}{a}$, was nur möglich ist, wenn $b^2 < ac$.

III. $\chi = R$, die Gränzebenen parallel einer Mittellinie, zur ersten bei den negativen, zur zweiten bei den positiven Krystallen.

$$s^2 = a^2 + b^2 - r^2, \quad A = c^2 r^2, \quad B = c^2 + r^2, \\ C = a^2 b^2, \quad D = a^2 + b^2$$

$$\left[c^2 r^2 \frac{d^2}{d^2} - (c - r)^2 \right] u^2 k^2 = x^2 (b^2 - cr)(cr - a^2) \\ + y^2 \frac{c}{r^2} [(c - r)(cr^3 - a^2 b^2) + c(r^2 - a^2)(b^2 - r^2)] \\ - y u k c \frac{c - r}{r} (b^2 - a^2) \sin 2\varphi.$$

Parabeln entstehen keine, wenn $b^2 < ac$; ist aber $b^2 > ac$, so erhält man einen Werth von r zwischen a und b und einen zwischen b und c ; nur der erste ist möglich.

Gerade Linien entstehen für $r = \frac{b^2}{c}$, was nur möglich ist, wenn $b^2 > ac$.

Nennt man einen zweiaxigen Krystall positiv oder negativ, je nachdem $b^2 > ac$ oder $b^2 < ac$, und erste Mittellinie im ersten Fall die Richtung, nach welcher die Geschwindigkeit des Lichts b und c ist, im zweiten Fall die Richtung, nach welcher die Geschwindigkeit des Lichts a und b ist, so kann man die Resultate von II und III so zusammenfassen:

Wenn die Gränzebenen parallel zur ersten Mittellinie sind, so erhält man stets Hyperbeln; dagegen der Reihe nach Hyperbeln, Parabeln, Ellipsen, gerade Linien, Hyperbeln, wenn die Gränzebenen parallel zur zweiten Mittellinie sind.

Es ist klar, daß von geraden Linien im strengen Sinn des Worts keine Rede seyn kann. Ich habe einen Topas nach meiner Berechnung so geschliffen, um diese geraden Linien zu erhalten. Bei kleinem Gesichtsfeld bemerkt man keinen Unterschied von geraden Linien; wird aber das Gesichtsfeld durch Concavlinen vergrößert, so sieht man Curven, deren Krümmungshalbmesser in der Mitte des Gesichtsfeldes sehr groß sind, und die von Convexität zu Concavität übergehen.

Nach dem Vorbergehenden ist man im Stande, für jeden zweiaxigen Krystall mit parallelen Gränzflächen die Curven gleicher Phasendifferenz für homogenes Licht zu bestimmen. Auf diesen Curven wechselt aber die Intensität des Lichts je nach der Stellung der zwei Polarisationswinkel. Um diesen Wechsel, bei dessen Bestimmung es sich viel weniger um Genauigkeit handelt, als bei der Bestimmung der Form der Curven, einfach und leicht in jedem Fall aufzufinden, helfe ich mir in folgender Art.

Es sey eine Curve gleicher Phasendifferenz gezeichnet: ich suche die Intensität des Lichts in einem bestimmten Punkt A derselben.

Ich denke mir A auf der oberen Gränzfläche des Krystalls: von A gelangen zwei Strahlen nach derselben Richtung AO ins Auge O . Diese Strahlen entstehen aus zwei

zu AO parallel in G_1 und G_2 auf der untern Gränzfläche einfallenden Strahlen, die nach G_1A und G_2A im Krystall gebrochen werden. Von allen diesen Strahlen nehme ich an, sie seyen nahezu senkrecht zu den Gränzflächen, also ihre Schwingungen nahezu parallel den Gränzflächen. Durch das vordere Polarisationsmittel tritt homogenes geradlinig polarisirtes Licht von bestimmter Intensität und Schwingungsrichtung ein; G_1g_1 und G_2g_2 seyen parallele, gleich-große Linien in der untern Gränzfläche: sie können Amplitude und Richtung der Schwingungen der in G_1 und G_2 einfallenden Strahlen vorstellen.

Längs G_1A pflanzen sich im Krystall zwei Strahlen fort, ein stärker und ein schwächer gebrochener, rechtwinklig zu einander polarisirt; ebenso längs G_2A . Nur zwei dieser vier Strahlen, z. B. der schwächer gebrochene längs G_1A und der stärker gebrochene längs G_2A gelangen ins Auge: wir betrachten daher nur diese zwei. Die Schwingungen des ersten finden in einer bestimmten Halbirungsebene des Flächenwinkels statt, welcher von den zwei Ebenen durch G_1A und die optischen Axen gebildet wird; die Schwingungen des zweiten nahezu in einer zu jener senkrechten Ebene. Amplituden und Richtungen der beiden Schwingungen sind nahezu die Projectionen von G_1g_1 und G_2g_2 auf die Spuren jener Schwingungsebenen in der untern Gränzebene.

Diese Schwingungen pflanzen sich nach A fort und seyen in der obern Gränzebene durch Aa_1 und Aa_2 nach Weite und Richtung bestimmt. Die Schwingungen des Strahls OA finden nahezu in der obern Gränzebene statt, also in der Spur AP der Schwingungsebene des zweiten Polarisationsmittels auf dieser Gränzebene. Projicirt man also Aa_1 und Aa_2 auf AP , so hat man die Amplituden der zwei interferirenden Schwingungen, also die Intensität des entstehenden Lichts, da man die Phasendifferenz kennt.

Um die Lösung der Aufgabe ganz bequem zu machen, verwechsle ich noch die Richtung der gebrochenen Strahlen im Krystall mit der Richtung der austretenden und

die Richtung der optischen Axen mit der Richtung OQ_1 und OQ_2 der austretenden Strahlen, welche im Krystall längs derselben sich fortpflanzen. Dann sind Aa_1 und Aa_2 die Spuren der Halbirungsebenen des Flächenwinkels, welchen die Ebenen durch AO und durch OQ_1 und OQ_2 bilden, oder wieder nahezu die Halbirungslinien des Winkels Q_1AQ_2 . (Treten die Strahlen, die sich längs der optischen Axen fortpflanzen, nicht aus, so nehme man unmittelbar ihre Richtungen, lege sie durch O und bestimme ihre Spuren in der obern Gränzebene.) Zieht man also durch A eine Linie Ai , welche die Schwingung des einfallenden Lichts in Gröfse und Richtung vorstellt, dann ergeben sich Aa_1 und Aa_2 als Projectionen von Ai auf die Halbirungslinien des Winkels Q_1AQ_2 , und aus Aa_1 und Aa_2 durch Projection auf AP Amplitude und Richtung der Schwingungen des austretenden Strahls.

Sollen Strahlen ganz ausgelöscht werden, abgesehen von der Phasendifferenz, so muß iAa_1 oder iAa_2 ein Rechter seyn, und im ersten Fall Aa_2 senkrecht auf AP , im zweiten Aa_1 senkrecht auf AP : d. h. unter allen Umständen müssen die Polarisationsmittel rechtwinklig gekreuzt seyn. Ganz einfach findet man für diesen Fall z. B. die dunkeln Hyperbeln, welche die Lemniscaten durchkreuzen.

III. Allgemeine Gleichungen für oscillatorische Bewegungen; von J. Stefan in Wien.

Nach dem Vorgange Cauchy's wird die Construction der Undulationstheorie damit begonnen, daß man die zwischen den einzelnen Punkten eines materiellen Systems wirkenden Kräfte als Functionen der gegenseitigen Entfernungen dieser Punkte betrachtet und zugleich voraussetzt, daß diese Functionen im ganzen Systeme ihr Wesen nicht ändern. Man gelangt so zur Aufstellung der Gleichungen des Gleichgewichtes für das in Betracht gezogene System. Sind x, y, z die orthogonalen Coordinaten eines beliebigen Punktes von der Masse m , r der Abstand dieses Punktes von einem anderen mit der Masse m' behafteten, $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ die Projectionen dieses Abstandes auf die Coordinatenachsen und ist $f(r)$ diejenige Function, welche den Quotienten aus der gegenseitigen Action zweier Masseneinheiten in ihre Entfernung ausdrückt, so sind die Gleichgewichtsgleichungen:

$$S[mm'f(r)\Delta x] = 0$$

$$S[mm'f(r)\Delta y] = 0$$

$$S[mm'f(r)\Delta z] = 0.$$

Kommt nun das gedachte System in Bewegung, so ändern sich die Coordinaten von m um gewisse Größen ξ, ζ, η , ebenso die von m' um $\xi + \Delta\xi, \eta + \Delta\eta, \zeta + \Delta\zeta$. Der Abstand zwischen beiden Punkten geht über in $r + \varrho$ und letzter Zuwachs ist durch die Gleichung:

$$(r + \varrho)^2 = (\Delta x + \Delta\xi)^2 + (\Delta y + \Delta\eta)^2 + (\Delta z + \Delta\zeta)^2$$

bestimmt. Die Anwendung des D'Alembert'schen Princips giebt die Bewegungsgleichungen in folgender Form:

$$m \frac{d^2\xi}{dt^2} = S[mm'f(r + \varrho) \cdot (\Delta x + \Delta\xi)]$$

$$m \frac{d^2\eta}{dt^2} = S[mm'f(r + \varrho) \cdot (\Delta y + \Delta\eta)]$$

$$m \frac{d^2\zeta}{dt^2} = S[mm'f(r + \varrho) \cdot (\Delta z + \Delta\zeta)].$$

Die in diesen Gleichungen vorkommenden Summen werden dadurch transformirt, dafs man $f(r + \varrho)$ nach dem Taylor'schen Theoreme in eine Reihe

$$f(r + \varrho) = f(r) + \varrho \cdot f'(r) + \dots$$

entwickelt und dann ϱ durch $r, \Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta \xi, \Delta \eta, \Delta \zeta$ ausdrückt, dabei aber alle Gröfsen, deren Kleinheit die zweite Ordnung überschreitet, vernachlässiget. Die so erhaltenen Gleichungen sind Differenzengleichungen nach ξ, η, ζ und werden gleichfalls unter Anwendung des Taylor'schen Lehrsatzes in Differentialgleichungen verwandelt, indem man:

$$\begin{aligned} \Delta \xi &= \frac{d\xi}{dx} \cdot \Delta x + \frac{d\xi}{dy} \cdot \Delta y + \frac{d\xi}{dz} \cdot \Delta z \\ &+ \frac{1}{2} \left(\frac{d^2 \xi}{dx^2} \cdot \Delta x^2 + \frac{d^2 \xi}{dy^2} \cdot \Delta y^2 + \frac{d^2 \xi}{dz^2} \cdot \Delta z^2 \right) \\ &+ \frac{d^2 \xi}{dy \, dz} \cdot \Delta y \cdot \Delta z + \frac{d^2 \xi}{dx \, dz} \cdot \Delta x \cdot \Delta z + \frac{d^2 \xi}{dx \, dy} \cdot \Delta x \cdot \Delta y \\ &+ \dots \end{aligned}$$

setzt und für $\Delta \eta$ und $\Delta \zeta$ ihre analogen Werthe einführt.

Durch die Annahme, dafs in einem homogenen Systeme jedem Punkte ein bezüglich des angenommenen Coordinatensystems entgegengesetzt liegender, ein Gegenpunkt entspreche, wird zu jedem $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ ein $-\Delta x, -\Delta y, -\Delta z$ als correspondirend bedingt, wodurch alle Summen, deren Glieder $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ in ungeraden Potenzen als Factoren enthalten, aus der Rechnung fallen. Da eben solche Summen Factoren der ersten Differentialquotienten von ξ, η, ζ sind, so fallen dadurch auch diese aus der Rechnung und es bleiben Gleichungen übrig, die nur zwei Differentialquotienten enthalten, welche die noch übrig gebliebenen Summen als Factoren bei sich tragen. Diese Summen sind von den Verschiebungen ξ, η, ζ unabhängig, beziehen sich nur auf die innere Constitution des Systems können daher bezüglich der Bewegungen als constante Gröfsen betrachtet werden. Setzt man

$$\frac{1}{2} S[m f(r) \cdot \Delta x^2] = G$$

$$\frac{1}{2} S[m' f(r) \cdot \Delta y^2] = H$$

$$\frac{1}{2} S[m' f(r) \cdot \Delta z^2] = J$$

$$\frac{1}{2} S\left[m' f(r) \cdot \frac{\Delta x^4}{r}\right] = L$$

$$\frac{1}{2} S\left[m' f(r) \cdot \frac{\Delta y^4}{r}\right] = M$$

$$\frac{1}{2} S\left[m' f(r) \cdot \frac{\Delta z^4}{r}\right] = N$$

$$\frac{1}{2} S\left[m' f(r) \cdot \frac{\Delta y^2 \cdot \Delta z^2}{r}\right] = P$$

$$\frac{1}{2} S\left[m' f(r) \cdot \frac{\Delta x^2 \cdot \Delta z^2}{r}\right] = Q$$

$$\frac{1}{2} S\left[m' f(r) \cdot \frac{\Delta x^2 \cdot \Delta y^2}{r}\right] = R$$

so nehmen die gefundenen Bewegungsgleichungen folgende Form an:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \xi}{dt^2} = (G + L) \frac{d^2 \xi}{dx^2} + (H + R) \frac{d^2 \xi}{dy^2} + (J + Q) \frac{d^2 \xi}{dz^2} \\ + 2R \frac{d^2 \eta}{dx dy} + 2Q \frac{d^2 \zeta}{dx dz} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \eta}{dt^2} = (G + R) \frac{d^2 \eta}{dx^2} + (H + M) \frac{d^2 \eta}{dy^2} + (J + P) \frac{d^2 \eta}{dz^2} \\ + 2P \frac{d^2 \zeta}{dy dz} + 2R \frac{d^2 \xi}{dx dy} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \zeta}{dt^2} = (G + Q) \frac{d^2 \zeta}{dx^2} + (H + P) \frac{d^2 \zeta}{dy^2} + (J + N) \frac{d^2 \zeta}{dz^2} \\ + 2Q \frac{d^2 \xi}{dx dz} + 2P \frac{d^2 \eta}{dy dz} \end{aligned}$$

Einen von dem eben angegebenen verschiedenen Weg schlug Green ein ¹⁾, um die Gleichungen für kleine oscillatorische Bewegungen zu entwickeln, in seiner Theorie der Reflexion und Berechnung des Lichtes an der Trennungsebene nicht krystallisirter Medien.

Er geht von dem allgemeinen Principe der virtuellen Bewegungen aus, welches er in der Form

$$\sum dV \cdot \delta \varphi = 0$$

1) In den *Camb. Transact.* Bd. IX.

zur Anwendung bringt. Darin bedeutet dV das Volumen eines Elementartheilchens, $\delta\varphi$ hingegen vertritt die Stelle des Ausdrucks

$$P \cdot \delta p$$

unter P eine der im Systeme auf die in der Volumseinheit befindliche Masse wirkenden Kräfte, unter δp die Projection einer sehr kleinen Verschiebung des Angriffspunktes dieser Kraft auf die Richtung der letzteren verstanden. Green leitete daraus nur die Gleichungen für ein einfach brechendes Medium ab. Hier soll die Entwicklung der Bewegungsgleichungen nach demselben Principe geliefert werden für den allgemeinsten Fall eines zweiaxigen Mittels und diese allgemeinen Gleichungen sollen dann auf eine strenge Weise specialisirt werden für den Fall eines einaxigen und endlich eines einfach brechenden Mediums.

Die Natur der Function φ ist näher nicht bestimmt, also sind auch die im System wirkenden Kräfte durch keine andere Bedingungen beschränkt, als durch diejenigen, welche für die Anwendung des Princips der virtuellen Bewegungen bestehen. Diesem zufolge sind daher die inneren Kräfte des Systems ebenfalls nur nach festen Mittelpunkten wirkende, als Functionen der gegenseitigen Distanz der wirkenden Punkte. Es ist also auch stillschweigend in den Calcül die Bedingung gelegt, daß der aus der Mechanik bekannte Ausdruck

$$\Sigma(X \cdot \delta x + Y \cdot \delta y + Z \cdot \delta z) = 0$$

sey, unter X, Y, Z die Componenten von P nach den Coordinatenaxen, und unter $\delta x, \delta y, \delta z$ die Projectionen von δp auf letztere gedacht.

Verbindet man das Princip der virtuellen Bewegungen mit dem D'Alembert'schen, führt statt der Summen Integrale ein und setzt;

$$dV = dx dy dz,$$

so erhält man, die Dichte des Mediums mit ρ , und mit u, x, w die nach den Coordinatenaxen geschätzten Verschiebungen eines Theilchens bezeichnend, die Gleichung:

$$\iiint \rho dx dy dz \left(\frac{d^2 u}{dt^2} \delta u + \frac{d^2 v}{dt^2} \delta v + \frac{d^2 w}{dt^2} \delta w \right) \\ = \iiint dx dy dz \cdot \delta \varphi.$$

Die Gröfse φ mufs nun in so weit näher bestimmt werden, dafs sie activ in die Rechnung eingreifen könne. Diefs wird durch folgenden Schlufs geleistet. Die resultirende Bewegung in dem in Betracht gezogenen Systeme mufs nothwendig eine Function der Gröfse φ seyn, da ja φ ein Ausdruck ist, der die verschiedenen zwischen den einzelnen Theilchen wirkenden Kräfte repräsentirt. Umgekehrt kann nun auch φ als eine Function der erfolgten Bewegung, als eine Function derjenigen Gröfsen betrachtet werden, welche Resultate der Bewegung sind. Das als rechtwinkliches Parallelepipeden gedachte Elementartheilchen, dessen Seiten dx , dy , dz sind, ändert in Folge der Bewegung seine Gestalt, die Seiten desselben verwandeln sich in:

$$dx(1 + s_1), dy(1 + s_2), dz(1 + s_3),$$

worin s_1, s_2, s_3 sehr kleine Gröfsen bedeuten. Die neuen Seiten werden zugleich gewisse Neigungen gegen einander haben, sie werden mit einander Winkel bilden, die jedoch von rechten nur sehr wenig verschieden seyn werden, und wenn man mit α, β, γ die Cosinuse dieser Winkel bezeichnet, so sind auch α, β, γ sehr kleine Gröfsen. Diese Gröfsen $s_1, s_2, s_3, \alpha, \beta, \gamma$ sind Resultate der Bewegung, also φ eine gewisse Function dieser Gröfsen. Welche Form nun auch diese Function haben mag, so kann man sie immerhin in eine Reihe verwandeln, die nach Potenzen von $s_1, s_2, s_3, \alpha, \beta, \gamma$ fortschreitet, und dieser Reihe kann man um so mehr Convergenz vindiciren, da die angeführten Gröfsen sehr kleine sind. Man kann daher

$$\varphi = \varphi_0 + \varphi_1 + \varphi_2 + \dots$$

setzen, worin φ_0 die constanten Glieder, φ_1 die der ersten, φ_2 die der zweiten Ordnung umfaßt u. s. w. In Folge der Kleinheit der Gröfsen, nach denen die Reihe geordnet

ist, kann bei dem Gliede der zweiten Ordnung die Reihe abbrechen.

Der gemachten Bestimmung gemäß ist also

$$\begin{aligned}\varphi_1 &= a_1 s_1 + a_2 s_2 + a_3 s_3 + a_4 \alpha + a_5 \beta + a_6 \gamma \\ \varphi_2 &= b_1 s_1^2 + b_2 s_2^2 + b_3 s_3^2 + b_4 \alpha^2 + b_5 \beta^2 + b_6 \gamma^2 \\ &\quad + b_7 s_1 s_2 + b_8 s_1 s_3 + b_9 s_1 \alpha + b_{10} s_1 \beta + \dots \\ &\quad + \dots\end{aligned}$$

worin die a und die b constante Größen der Materie bedeuten, die Zahl der a ist sechs, die der b einundzwanzig.

Da φ_0 nur constante Glieder enthält, so ist

$$\delta\varphi = \delta\varphi_1 + \delta\varphi_2$$

und $\delta\varphi_1$ enthält nur die Variationen von $s_1, s_2, s_3, \alpha, \beta, \gamma$; $\delta\varphi_2$ hingegen besteht aus Gliedern, deren jedes von der Form $p\delta q$ ist (in manchen ist zugleich $p=q$) und einen constanten Factor bei sich trägt, so wie auch die Variationen in $\delta\varphi_1$; für den Fall des Gleichgewichtes hat man

$$\iiint dxdydz (\delta\varphi_1 + \delta\varphi_2) = 0.$$

Da für diesen Fall $s_1, s_2, s_3, \alpha, \beta, \gamma$ selbst der Null gleich sind, so verschwindet $\delta\varphi_2$ in Folge dessen, daß jedes seiner Glieder eine dieser Größen als Factor trägt, also bleibt:

$$\iiint dxdydz \cdot \delta\varphi_1 = 0,$$

folglich muß $\delta\varphi_1$ für sich verschwinden. Nun ist

$\delta\varphi_1 = a_1 \delta s_1 + a_2 \delta s_2 + a_3 \delta s_3 + a_4 \delta \alpha + a_5 \delta \beta + a_6 \delta \gamma$
und da die Variationen willkürliche Größen bedeuten, so hat man:

$$a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = a_5 = a_6 = 0,$$

und die der ganzen Entwicklung zu Grunde gelegte Gleichung bleibt uns in der Form:

$$\begin{aligned}\iiint \rho dxdydz \left(\frac{d^2 u}{dt^2} \delta u + \frac{d^2 v}{dt^2} \delta v + \frac{d^2 w}{dt^2} \delta w \right) \\ = \iiint dxdydz \delta\varphi_2.\end{aligned}$$

Zur weiteren Determinirung von $\delta\varphi_2$ ist eine nähere Bestimmung der Größen $s_1, s_2, s_3, \alpha, \beta, \gamma$ nöthig. Diefs geschieht dadurch, dafs man die Aenderung des Volumens eines Elementartheilchens bei dem Uebergange aus seiner ursprünglichen Position in die neue beachtet. Betrachtet man eine von den Seiten des elementaren Parallelepipedchens, etwa dx , so sind die Coordinaten ihres Anfangspunktes, heifse er A :

$$x, y, z$$

die ihres Endpunktes, der B heifsen möge

$$x + dx, y, z.$$

In Folge der Bewegung ändert das Parallelepipedchen seine Lage und Gestalt; die der dx homologe Seite fällt zwischen zwei andere Punkte A' und B' . Die Coordinaten von A' sind:

$$x + u, y + v, z + w,$$

die von B' :

$$x + u + \frac{d(x+u)}{dx} dx, y + v + \frac{dv}{dx} dx, z + w + \frac{dw}{dx} dx$$

Aehnlich verwandeln sich die Coordinaten der Endpunkte der beiden anderen Seiten. Man hat somit:

$$(A'B')^2 = \left(\frac{d(x+u)}{dx} dx\right)^2 + \left(\frac{dv}{dx} dx\right)^2 + \left(\frac{dw}{dx} dx\right)^2$$

oder

$$A'B' = dx \sqrt{\left(1 + \frac{du}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dv}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dw}{dx}\right)^2}$$

Da die Verschiebungen als sehr kleine betrachtet werden, so kann man die zweiten Potenzen ihrer nach den Coordinaten genommenen Differentialquotienten vernachlässigen, und hat

$$A'B' = dx \sqrt{1 + 2\frac{du}{dx}} = dx \left(1 + \frac{du}{dx}\right).$$

Nun ist aber

$$A'B' = dx(1 + s_1),$$

also ist

$$s_1 = \frac{du}{dx}.$$

Auf dieselbe Weise findet man

$$s_2 = \frac{dv}{dy}; s_3 = \frac{dw}{dx}.$$

Um die Cosinuse der Winkel, die die neuen Seiten mit einander bilden, zu berechnen, bestimmt man zuerst die Cosinuse der Winkel, welche die einzelnen Seiten mit den Coordinatenaxen bilden, indem man ihre Projectionen auf die betreffende Axe durch ihre Längen dividirt. Bezeichnen wir abkürzend die neuen Seiten mit dx' , dy' , dz' , den Winkel den dx' mit der Axe der x bildet mit (X, dx') und auf analoge Weise auch die übrigen Winkel, so ist

$$\cos(X, dx') = \frac{\frac{d(x+u)}{dx} dx}{dx'},$$

$$\cos(Y, dx') = \frac{\frac{dv}{dx} dx}{dx'}, \quad \cos(Z, dx') = \frac{\frac{dw}{dx} dx}{dx'}$$

ähnlich ist

$$\cos(X, dy') = \frac{\frac{du}{dy} dy}{dy'},$$

$$\cos(Y, dy') = \frac{\frac{d(y+v)}{dy} dy}{dy'}, \quad \cos(Z, dy') = \frac{\frac{dw}{dy} dy}{dy'}.$$

Nach einem bekannten Satze der Geometrie ist:

$$\cos(dx', dy') = \cos(X, dx') \cos(X, dy')$$

$$+ \cos(Y, dx') \cos(Y, dy') + \cos(Z, dx') \cos(Z, dy'),$$

Setzt man hierin obige Werthe, nimmt annäherungsweise $dx dy = dx' dy'$ und vernachlässigt die Producte je zweier Differentialquotienten, so erhält man:

$$\cos(dx', dy') = \gamma = \frac{du}{dy} + \frac{dv}{dx}.$$

Auf dieselbe Weise erhält man:

$$\alpha = \frac{dv}{dx} + \frac{dw}{dy}$$

$$\beta = \frac{dw}{dx} + \frac{du}{dy}.$$

Betrachtet man das Medium, in dem die Bewegung vor sich geht, als ein symmetrisches bezüglich der drei Coordinatenebenen, so entspricht für diesen Fall jedem α , β , γ an irgend einem Punkte ein $-\alpha$, $-\beta$, $-\gamma$ seines Gegenpunktes; es fallen daher alle Glieder, die α , β , γ enthalten, mit Ausnahme derjenigen, in denen es in der zweiten Potenz vorkommt, bei der Summirung weg, so daß man φ_2 nur in der Form:

$$\varphi_2 = b_1 s_1^2 + b_2 s_2^2 + b_3 s_3^2 + b_4 \alpha^2 + b_5 \beta^2 + b_6 \gamma^2 \\ + b_7 s_2 s_3 + b_8 s_1 s_3 + b_9 s_1 s_2$$

zu betrachten hat. Der Gleichförmigkeit mit der Cauchy'schen Rechnung und größserer Bequemlichkeit wegen, setzen wir:

$$b_1 = -\frac{1}{2}G; \quad b_2 = -\frac{1}{2}H; \quad b_3 = -\frac{1}{2}J \\ b_4 = -\frac{1}{2}L; \quad b_5 = -\frac{1}{2}M; \quad b_6 = -\frac{1}{2}N \\ b_7 = -P; \quad b_8 = -Q; \quad b_9 = -R,$$

dann ist

$$-2\varphi_2 = Gs_1^2 + Hs_2^2 + Js_3^2 + L\alpha^2 + M\beta^2 + N\gamma^2 \\ + 2Ps_2s_3 + 2Qs_1s_3 + 2Rs_1s_2$$

und

$$-\delta\varphi_2 = Gs_1\delta s_1 + Hs_2\delta s_2 + Js_3\delta s_3 + L\alpha\delta\alpha + M\beta\delta\beta \\ + N\gamma\delta\gamma + P(s_2\delta s_3 + s_3\delta s_2) + Q(s_3\delta s_1 + s_1\delta s_3) \\ + R(s_2\delta s_1 + s_1\delta s_2).$$

Substituirt man die Werthe:

$$\delta s_1 = \frac{d}{dx}\delta u, \quad \delta s_2 = \frac{d}{dy}\delta v, \quad \delta s_3 = \frac{d}{dx}\delta w$$

$$\delta\alpha = \frac{d}{dx}\delta v + \frac{d}{dy}\delta w$$

$$\delta\beta = \frac{d}{dx}\delta w + \frac{d}{dx}\delta u$$

$$\delta\gamma = \frac{d}{dy}\delta u + \frac{d}{dx}\delta v$$

in $\delta\varphi_2$ und setzt das: transformirte $\delta\varphi_2$ in die Urgleichung, so folgt:

$$\begin{aligned}
& \iiint \rho \, dx \, dy \, dz \left(\frac{d^2 u}{dt^2} \delta u + \frac{d^2 v}{dt^2} \delta v + \frac{d^2 w}{dt^2} \delta w \right) \\
&= - \iiint dx \, dy \, dz \left[G s_1 \frac{d}{dx} \delta u + H s_2 \frac{d}{dy} \delta v + J s_3 \frac{d}{dz} \delta w \right. \\
&\quad + L \alpha \left(\frac{d}{dx} \delta v + \frac{d}{dy} \delta w \right) + M \beta \left(\frac{d}{dx} \delta w + \frac{d}{dz} \delta u \right) \\
&\quad + N \gamma \left(\frac{d}{dy} \delta u + \frac{d}{dx} \delta v \right) + P \left(s_2 \frac{d}{dx} \delta w + s_3 \frac{d}{dy} \delta v \right) \\
&\quad + Q \left(s_3 \frac{d}{dx} \delta u + s_1 \frac{d}{dz} \delta w \right) + R \left(s_1 \frac{d}{dy} \delta v \right. \\
&\quad \left. \left. + s_2 \frac{d}{dx} \delta u \right) \right].
\end{aligned}$$

Löst man letzteres Integral in eine Summe von Integralen auf, so befindet sich in jedem Integralausdrucke ein Differential einer Variation. Um dieses aus der Rechnung zu entfernen, kann man die *Integratio per partes* zu Hülfe nehmen. Wird das Medium als unbegrenztes angenommen, so ist die Integration sowohl bezüglich x , als auch y und z zwischen den Gränzen $-\infty$ und $+\infty$ auszuführen. Nimmt man hingegen eine der Coordinatenebenen z. B. die der yz als Gränzebene des Mediums, so sind dann die Integrationsgränzen bezüglich x nur 0 und $+\infty$, wenn sich das Medium nach der Seite der positiven x ausdehnt, während sie für ein neben dem ersteren liegendes Medium, welches sich also nach der Seite der negativen x ausbreitet $-\infty$ und 0 wären. Bezüglich y und z bleiben die früheren Gränzen $-\infty$ und $+\infty$. Für ein von der Ebene der yz begrenztes und nach der Seite der positiven Abscissen sich ausdehnendes Medium hat man daher

$$\begin{aligned}
- \iiint G \, dx \, dy \, dz \cdot s_1 \frac{d}{dx} \delta u &= - \left[\iint G \, dy \, dz \cdot s_1 \delta u \right]_0^{+\infty} \\
&\quad + \iiint G \, dx \, dy \, dz \cdot \frac{ds_1}{dx} \delta u \\
- \iiint H \, dx \, dy \, dz \cdot s_2 \frac{d}{dy} \delta v &= - \left[\iint H \, dx \, dz \cdot s_2 \delta v \right]_{-\infty}^{+\infty} \\
&\quad + \iiint H \, dx \, dy \, dz \cdot \frac{ds_2}{dy} \delta v
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -\iiint J dx dy dz \cdot s_3 \frac{d}{dz} \delta w = -\left[\iint J dx dy \cdot s_3 \delta w \right]_{-\infty}^{+\infty} \\
& \quad + \iiint J dx dy dz \frac{ds_3}{dz} \delta w \\
& -\iiint L dx dy dz \cdot \alpha \frac{d}{dz} \delta v = -\left[\iint L dx dy \cdot \alpha \delta v \right]_{-\infty}^{+\infty} \\
& \quad + \iiint L dx dy dz \frac{d\alpha}{dz} \delta v
\end{aligned}$$

u. s. w.

So wie diese vier werden auch die folgenden als Integrale leicht gebildet, wenn man zugleich immer auf die Integrationsgränzen der Doppelintegrale gehörige Rücksicht nimmt. Die zwischen $-\infty$ und $+\infty$ genommenen Integrale fallen weg, indem sie sich nur auf die eben bezeichneten Gränzen des Mediums beziehen, also auf die Bewegung im Innern des Mediums selbst keinen Einfluß üben. Die von 0 bis $+\infty$ genommenen Integrale beziehen sich auf die eine Gränze des Mediums, die Ebene der yz ; gelten also für $x=0$; die obere Gränze braucht ebenfalls nicht berücksichtigt zu werden.

Substituirt man diese Integrale in die gegebene Gleichung, so hat man dieselben der Kürze wegen wieder zusammenziehend

$$\begin{aligned}
& \iiint \varrho dx dy dz \left(\frac{d^2 u}{dt^2} \delta u + \frac{d^2 v}{dt^2} \delta v + \frac{d^2 w}{dt^2} \delta w \right) \\
& = \iiint dx dy dz \left[G \frac{ds_1}{dx} \delta u + H \frac{ds_2}{dy} \delta v + J \frac{ds_3}{dz} \delta w \right. \\
& \quad + L \left(\frac{d\alpha}{dz} \delta v + \frac{d\alpha}{dy} \delta w \right) + M \left(\frac{d\beta}{dx} \delta w + \frac{d\beta}{dz} \delta u \right) \\
& \quad + N \left(\frac{d\gamma}{dy} \delta u + \frac{d\gamma}{dx} \delta v \right) + P \left(\frac{ds_2}{dz} \delta w + \frac{ds_3}{dy} \delta v \right) \\
& \quad + Q \left(\frac{ds_3}{dx} \delta u + \frac{ds_1}{dz} \delta w \right) + R \left(\frac{ds_1}{dy} \delta v + \frac{ds_2}{dx} \delta u \right) \\
& \quad \left. - \iint dy dz \left[G s_1 \delta u + M \beta \delta w + N \gamma \delta v \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + Q s_3 \delta u + R s_2 \delta u \right] \right]
\end{aligned}$$

worin das letzte Doppelintegral nur für die Gränze $x=0$ gilt.

Betrachtet man noch ein zweites Medium, das neben dem ersteren liegt, dessen Dichte mit ρ' und dessen Verschiebungen mit u' , v' , w' bezeichnet werden mögen, und für welches die Coëfficienten G , H , J , L , M , N , P , Q , R in die bestrichelten G' , H' , J' , L' , M' , N' , P' , Q' , R' übergehen, so erhält man für dasselbe auf die ganz gleiche Weise eine analoge Gleichung. Bei den vorhin vorgenommenen Integrationen sind die Gränzen bezüglich y und z ebenfalls $-\infty$ und $+\infty$, bezüglich x aber $-\infty$ und 0 . Da der durch Substitution der unteren Gränze zu erhaltende Ausdruck unberücksichtigt zu lassen ist, so haben die sich ergebenden Doppelintegrale nur für $x=0$ ihre Geltung. Da hier 0 die obere Gränze bildet, während sie für das frühere Medium die untere war, so werden die Zeichen für die den beiden Medien angehörnden Doppelintegrale die entgegengesetzten seyn. Für dieses zweite Medium hat man daher

$$\begin{aligned} & \iiint \rho' dx dy dz \left(\frac{d^2 u'}{dt^2} \delta u' + \frac{d^2 v'}{dt^2} \delta v' + \frac{d^2 w'}{dt^2} \delta w' \right) \\ & - \iiint dx dy dz \left[G' \frac{ds_1'}{dx} \delta u' + H' \frac{ds_2'}{dy} \delta v' + J' \frac{ds_3'}{dz} \delta w' \right. \\ & \quad + L' \left(\frac{d\alpha'}{dz} \delta v' + \frac{d\alpha'}{dy} \delta w' \right) + M' \left(\frac{d\beta'}{dx} \delta w' + \frac{d\beta'}{dz} \delta u' \right) \\ & \quad + N' \left(\frac{d\gamma'}{dy} \delta u' + \frac{d\gamma'}{dx} \delta v' \right) + P' \left(\frac{ds_2'}{dz} \delta w' + \frac{ds_3'}{dy} \delta v' \right) \\ & \quad + Q' \left(\frac{ds_3'}{dx} \delta u' + \frac{ds_1'}{dz} \delta w' \right) + R' \left(\frac{ds_1'}{dy} \delta v' + \frac{ds_2'}{dx} \delta u' \right) \Big] \\ & + \iint dy dz \left[G' s_1' \delta u' + M' \beta' \delta w' + N' \gamma' \delta v' \right. \\ & \quad \left. + Q' s_3' \delta u' + R' s_2' \delta u' \right] \end{aligned}$$

worin das letzte Doppelintegral nur für die Gränze $x=0$ gilt.

Betrachtet man die Bewegung in den Medien zugleich, so hat man nur diese Gleichung zur vorigen zu addiren.

Ordnet man die Ausdrücke unter den Integralzeichen nach δu , δv , δw und $\delta u'$, $\delta v'$, $\delta w'$ setzt, um abzukürzen,

$$G \frac{ds_1}{dx} + M \frac{d\beta}{dz} + N \frac{d\gamma}{dy} + Q \frac{ds_3}{dx} + R \frac{ds_2}{dx} = \mathfrak{X}$$

$$H \frac{ds_2}{dy} + L \frac{d\alpha}{dz} + N \frac{d\gamma}{dx} + P \frac{ds_3}{dy} + R \frac{ds_1}{dx} = \mathfrak{Y}$$

$$J \frac{ds_3}{dz} + L \frac{d\alpha}{dy} + M \frac{d\beta}{dx} + P \frac{ds_2}{dz} + Q \frac{ds_1}{dz} = \mathfrak{Z}$$

und bezeichnet mit \mathfrak{X} , \mathfrak{Y} , \mathfrak{Z} die analogen aus den bestri-
chelten Größen gebildeten Ausdrücke, so hat man nach
der Addition obiger zwei Gleichungen:

$$\begin{aligned} & \iiint dx dy dz \left[\rho \left(\frac{d^2 u}{dt^2} \delta u + \frac{d^2 v}{dt^2} \delta v + \frac{d^2 w}{dt^2} \delta w \right) \right. \\ & \quad \left. + \rho' \left(\frac{d^2 u'}{dt^2} \delta u' + \frac{d^2 v'}{dt^2} \delta v' + \frac{d^2 w'}{dt^2} \delta w' \right) \right] \\ &= \iiint dx dy dz \left[(\mathfrak{X} \delta u + \mathfrak{Y} \delta v + \mathfrak{Z} \delta w) \right. \\ & \quad \left. + (\mathfrak{X}' \delta u' + \mathfrak{Y}' \delta v' + \mathfrak{Z}' \delta w') \right] \\ & - \iint dy dz \left[(Gs_1 + Rs_2 + Qs_3) \delta u + N\gamma \delta v + M\beta \delta w \right. \\ & \quad \left. - (G's_1' + R's_2' + Q's_3') \delta u' - N'\gamma' \delta v' - M'\beta' \delta w' \right] \end{aligned}$$

Die dreifachen Integrale beziehen sich auf die Bewe-
gung in beiden Medien nach ihrer ganzen Ausdehnung; das
Doppelintegral bezieht sich, wie schon gesagt wurde, nur
auf die Vorgänge an der Trennungsebene yz , es gilt nur
für $x=0$. Die dreifachen Integrale müssen daher für sich
einander gleich seyn und da δu , δv , δw , $\delta u'$, $\delta v'$, $\delta w'$ be-
liebige Größen sind, so muß

$$\rho \frac{d^2 u}{dt^2} = \mathfrak{X}, \quad \rho \frac{d^2 v}{dt^2} = \mathfrak{Y}, \quad \rho \frac{d^2 w}{dt^2} = \mathfrak{Z}$$

$$\rho' \frac{d^2 u'}{dt^2} = \mathfrak{X}', \quad \rho' \frac{d^2 v'}{dt^2} = \mathfrak{Y}', \quad \rho' \frac{d^2 w'}{dt^2} = \mathfrak{Z}'$$

seyn, und für die Trennungsebene der beiden Medien gilt
noch die Gleichung:

$$\begin{aligned} & (Gs_1 + Rs_2 + Qs_3) \delta u + N\gamma \delta v + M\beta \delta w \\ &= (G's_1' + R's_2' + Q's_3') \delta u' + N'\gamma' \delta v' + M'\beta' \delta w'. \end{aligned}$$

Nimmt man die von Cauchy mit dem Namen des Princip der correspondirenden Bewegungen bezeichnete Hypothese an, daß die Verschiebungen an der Trennungsebene für beide Medien dieselben sind, daß also für $x=0$

$$u = u'; \quad v = v'; \quad w = w'$$

und

$$\delta u = \delta u'; \quad \delta v = \delta v'; \quad \delta w = \delta w'$$

ist. Diefß berücksichtigend hat man für die Trennungsebene der beiden Medien die Bedingungsgleichungen

$$Gs_1 + Rs_2 + Qs_3 = G's_1' + R's_2' + Q's_3'$$

$$N\gamma = N'\gamma'$$

$$M\beta = M'\beta'$$

Die nun abgeleiteten Gleichungen sind nun in der Form von Differentialgleichungen darzustellen, \mathfrak{X} , \mathfrak{Y} , \mathfrak{Z} und \mathfrak{X}' , \mathfrak{Y}' , \mathfrak{Z}' näher zu bestimmen. Zu diesem Zwecke bemerken wir, daß

$$\begin{aligned} \frac{ds_1}{dx} &= \frac{d^2 u}{dx^2}, & \frac{ds_1}{dy} &= \frac{d^2 u}{dx dy}, & \frac{ds_1}{dz} &= \frac{d^2 u}{dx dz} \\ \frac{ds_2}{dx} &= \frac{d^2 v}{dx dy}, & \frac{ds_2}{dy} &= \frac{d^2 v}{dy^2}, & \frac{ds_2}{dz} &= \frac{d^2 v}{dy dz} \\ \frac{ds_3}{dx} &= \frac{d^2 w}{dx dz}, & \frac{ds_3}{dy} &= \frac{d^2 w}{dy dz}, & \frac{ds_3}{dz} &= \frac{d^2 w}{dz^2} \end{aligned}$$

ferner

$$\frac{d\alpha}{dy} = \frac{d^2 v}{dy dz} + \frac{d^2 w}{dy^2}$$

$$\frac{d\alpha}{dz} = \frac{d^2 v}{dz^2} + \frac{d^2 w}{dy dz}$$

$$\frac{d\beta}{dx} = \frac{d^2 w}{dx^2} + \frac{d^2 u}{dx dz}$$

$$\frac{d\beta}{dz} = \frac{d^2 w}{dx dz} + \frac{d^2 u}{dz^2}$$

$$\frac{d\gamma}{dx} = \frac{d^2 u}{dx dy} + \frac{d^2 v}{dx^2}$$

$$\frac{d\gamma}{dy} = \frac{d^2 u}{dy^2} + \frac{d^2 v}{dx dy}$$

Substituirt man diese Gleichungen in \mathfrak{X} , \mathfrak{Y} , \mathfrak{Z} , so folgt:

$$\begin{aligned} \mathfrak{X} = G \frac{d^2 u}{dx^2} + M \left(\frac{d^2 w}{dx dy} + \frac{d^2 u}{dx^2} \right) + N \left(\frac{d^2 u}{dy^2} + \frac{d^2 v}{dx dy} \right) \\ + Q \frac{d^2 w}{dx dx} + R \frac{d^2 v}{dx dy} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathfrak{Y} = H \frac{d^2 v}{dy^2} + L \left(\frac{d^2 v}{dx^2} + \frac{d^2 w}{dy dx} \right) + N \left(\frac{d^2 u}{dx dy} + \frac{d^2 v}{dx^2} \right) \\ + P \frac{d^2 w}{dy dx} + R \frac{d^2 u}{dx dy} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathfrak{Z} = J \frac{d^2 w}{dx^2} + L \left(\frac{d^2 v}{dy dx} + \frac{d^2 w}{dy^2} \right) + M \left(\frac{d^2 w}{dx^2} + \frac{d^2 u}{dx dx} \right) \\ + P \frac{d^2 v}{dy dx} + Q \frac{d^2 u}{dx dx} \end{aligned}$$

und auf ganz ähnliche Weise gestalten sich die Ausdrücke für \mathfrak{X} , \mathfrak{Y} , \mathfrak{Z} , wenn man nur die u , v , w und die constanten Coëfficienten in diesen Relationen mit Strichen versieht.

Ordnet man diese Ausdrücke nach den Differentialquotienten, so nehmen die Bewegungsgleichungen folgende Gestalt an:

$$\begin{aligned} \rho \frac{d^2 u}{dt^2} = G \frac{d^2 u}{dx^2} + N \frac{d^2 u}{dy^2} + M \frac{d^2 u}{dx^2} + (N + R) \frac{d^2 v}{dx dy} \\ + (M + Q) \frac{d^2 w}{dx dx} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho \frac{d^2 v}{dt^2} = N \frac{d^2 v}{dx^2} + H \frac{d^2 v}{dy^2} + L \frac{d^2 v}{dx^2} + (N + R) \frac{d^2 u}{dx dy} \\ + (L + P) \frac{d^2 w}{dy dx} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho \frac{d^2 w}{dt^2} = M \frac{d^2 w}{dx^2} + L \frac{d^2 w}{dy^2} + J \frac{d^2 w}{dx^2} + (M + Q) \frac{d^2 u}{dx dx} \\ + (L + P) \frac{d^2 v}{dy dx} \end{aligned}$$

Aehnlich diesen sind die Gleichungen für das zweite Medium.

Man sieht, daß sich diese Gleichungen von den eingangs aufgestellten wesentlich nicht unterscheiden; dessenungeachtet giebt es keinerlei Relation der Coëfficienten dieser zu jenen in den obigen Gleichungen, mittelst welcher diese in jene verwandelt werden könnten.

Substituirt man in die für $x=0$ geltenden Gleichungen

die Werthe von s_1, s_2, s_3 und s'_1, s'_2, s'_3 , ferner von β, γ und β', γ' , so erhalten sie folgende Form:

$$G \frac{du}{dx} + R \frac{dv}{dy} + Q \frac{dw}{dz} = G' \frac{du'}{dx} + R' \frac{dv'}{dy} + Q' \frac{dw'}{dz}$$

$$N \left(\frac{du}{dy} + \frac{dv}{dx} \right) = N' \left(\frac{du'}{dy} + \frac{dv'}{dx} \right)$$

$$M \left(\frac{dw}{dx} + \frac{du}{dz} \right) = M' \left(\frac{dw'}{dx} + \frac{du'}{dz} \right)$$

Diese Gleichungen in Verbindung mit den drei folgenden

$$u = u', v = v', w = w'$$

sind die an der Trennungsebene geltenden Bedingungsgleichungen und liefern die Gesetze für die Erscheinungen, welche beim Uebergange der Bewegung aus einem Medium in das andere an der Uebergangsstelle statt finden. Die eingangs aufgeführte Deduction der Bewegungsgleichungen liefert keinerlei Bedingungen für die Trennungsebene zweier Medien. Diese Gleichungen bilden daher einen Vorzug der hier exponirten Entwicklungsweise, indem man dadurch aller weiteren Annahmen, die man sonst machen muß, um solche Gleichungen zu erhalten, entoben ist.

Um die allgemeinen Bewegungsgleichungen als auch die Bedingungsgleichungen für die Trennungsebene der beiden Medien zu specialisiren für den Fall eines einaxigen und dann eines einfach brechenden Mediums, hat man den Begriff oder das Wesen eines solchen Mediums, das in der symmetrischen Lagerung der einzelnen Punkte des betrachteten Systems um eine oder um alle drei Coordinatenachsen besteht, in die Rechnung einzuführen; findet diese Symmetrie in der Lage der einzelnen Punkte rings um die Axe der z statt, so ist es ganz gleichgültig, welche Lage die beiden anderen Axen der x und y haben, wenn nur die Orthogonalität des Coordinatensystems nicht gestört wird; immer muß die Function φ_2 als der mathematische Ausdruck der Natur und Wesenheit des Systems denselben Werth haben. Dreht man daher das rechtwink-

lige Axenpaar der x und y um einen beliebigen Winkel um die Axe der z , berechnet sich das φ_2 für dieses neue Coordinatensystem, so muß das so erhaltene φ_2 , welches aber unter einer andern Form erscheint und mit ψ_2 bezeichnet werden möge, es muß also ψ_2 identisch seyn mit φ_2 . Dieß wird nur unter gewissen Bedingungen, die von Seite der constanten Coëfficienten, die in φ_2 auftreten, werden erfüllt seyn müssen, möglich seyn und diese Relationen zwischen den Coëfficienten sind es, die ein einaxiges Medium charakterisiren, und zwar ist in dem angenommenen Falle die Axe der z parallel zur Axe des Systems. Führt man diese Relationen in die allgemeinen Gleichungen ein, so verwandeln sich diese in die speciel-
len für ein einaxiges Medium.

Gewöhnlich pflegt man derlei Bestimmungen nur für unendlich kleine Drehungen zu machen, indem man bereits die zweite Potenz des Drehungswinkels vernachlässigt. Es gewinnt so den Anschein, als ob die verlangte Symmetrie und die daraus folgende Identität von φ_2 und ψ_2 nur für ungemein kleine Drehungen Bestand hätte. Es ist wohl richtig, das alles, was für willkürlich große und kleine Größen gilt, auch für unendlich kleine gelten muß, die Umkehrung des Schlusses hingegen ist nicht erlaubt. Deshalb soll hier die Rechnung für einen ganz beliebigen Winkel θ vorgenommen werden, zu dem diese Deduction der Bedingungen sie auf eine viel klarere Weise zur Kenntniß bringt, als die andere weniger strenge Methode, ohne dabei länger zu seyn, als diese.

Werden die Axen der x und y um einen Winkel θ gedreht, so verwandelt sich

$$x \text{ in } x \cos \theta + y \sin \theta$$

$$y \text{ in } y \cos \theta - x \sin \theta$$

$$u \text{ in } u \cos \theta + v \sin \theta$$

$$v \text{ in } v \cos \theta - u \sin \theta$$

z und w bleiben ungeändert.

In Folge dessen geht s_1 über in

$$\frac{d(u \cos \theta + v \sin \theta)}{dx} \cos \theta + \frac{d(u \cos \theta + v \sin \theta)}{dy} \sin \theta \\ = s_1 \cos^2 \theta + \gamma \sin \theta \cos \theta + s_2 \sin^2 \theta.$$

s_2 geht über in

$$\frac{d(v \cos \theta - u \sin \theta)}{dy} \cos \theta - \frac{d(v \cos \theta - u \sin \theta)}{dx} \sin \theta \\ = s_1 \sin^2 \theta - \gamma \sin \theta \cos \theta + s_2 \cos^2 \theta.$$

s_3 bleibt unverändert. Dann geht α über in

$$\frac{d(v \cos \theta - u \sin \theta)}{dx} + \frac{dw}{dy} \cos \theta - \frac{dw}{dx} \sin \theta = \alpha \cos \theta - \beta \sin \theta$$

β verwandelt sich in

$$\frac{dw}{dx} \cos \theta + \frac{dw}{dy} \sin \theta + \frac{d(u \cos \theta + v \sin \theta)}{dx} = \beta \cos \theta + \alpha \sin \theta$$

und γ in

$$\frac{d(u \cos \theta + v \sin \theta)}{dy} \cos \theta - \frac{d(u \cos \theta + v \sin \theta)}{dx} \sin \theta \\ + \frac{d(v \cos \theta - u \sin \theta)}{dx} \cos \theta + \frac{d(v \cos \theta - u \sin \theta)}{dy} \sin \theta \\ = \gamma \cos^2 \theta + 2(s_2 - s_1) \sin \theta \cos \theta - \gamma \sin^2 \theta.$$

In Folge dessen wird $-2\varphi_2$ übergehen in

$$-2\psi_2 = G(s_1 \cos^2 \theta + \gamma \sin \theta \cos \theta + s_2 \sin^2 \theta)^2 + H(s_1 \sin^2 \theta \\ - \gamma \sin \theta \cos \theta + s_2 \cos^2 \theta) + Js_3^2 + L(\alpha \cos \theta - \beta \sin \theta)^2 \\ + M(\beta \cos \theta + \alpha \sin \theta)^2 + N[\gamma \cos^2 \theta + 2(s_2 - s_1) \sin \theta \cos \theta \\ - \gamma \sin^2 \theta]^2 + 2P(s_1 \sin^2 \theta - \gamma \sin \theta \cos \theta + s_2 \cos^2 \theta) s_3 \\ + 2Q(s_1 \cos^2 \theta + \gamma \sin \theta \cos \theta + s_2 \sin^2 \theta) s_3 + 2R(s_1 \cos^2 \theta \\ + \gamma \sin \theta \cos \theta + s_2 \sin^2 \theta)(s_1 \sin^2 \theta - \gamma \sin \theta \cos \theta + s_2 \cos^2 \theta).$$

Führt man die hierin angezeigten Operationen durch und ordnet die Ausdrücke nach s_1 , s_2 , s_3 und α , β , γ , so erhält man

$$-2\psi_2 = s_1^2 [G \cos^4 \theta + H \sin^4 \theta + (4N + 2R) \sin^2 \theta \cos^2 \theta] \\ + s_2^2 [G \sin^4 \theta + H \cos^4 \theta + (4N + 2R) \sin^2 \theta \cos^2 \theta] \\ + s_3^2 \cdot J \\ + \alpha^2 [L \cos^2 \theta + M \sin^2 \theta] \\ + \beta^2 [L \sin^2 \theta + M \cos^2 \theta]$$

$$\begin{aligned}
& + \gamma^2 [N(\cos^4 \theta + \sin^4 \theta - 2 \sin^2 \theta \cos^2 \theta) \\
& \quad + (G + H - 2R) \sin^2 \theta \cos^2 \theta] \\
& + 2s_2 s_3 [P \cos^2 \theta + Q \sin^2 \theta] \\
& + 2s_1 s_3 [P \sin^2 \theta + Q \cos^2 \theta] \\
& + 2s_1 s_2 [(G + H - 2N) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + R \cos^4 \theta + R \sin^4 \theta] \\
& + 2s_1 \gamma [G - 2N - R] \sin \theta \cos^3 \theta \\
& - 2s_1 \gamma [H - 2N - R] \sin^3 \theta \cos \theta \\
& + 2s_2 \gamma [G - 2N - R] \sin^3 \theta \cos \theta \\
& - 2s_2 \gamma [H - 2N - R] \sin \theta \cos^3 \theta \\
& + 2s_3 \gamma [Q - P] \sin \theta \cos \theta \\
& + 2\alpha \beta [M - L] \sin \theta \cos \theta
\end{aligned}$$

Soll nun ψ_2 äquivalent seyn mit φ_2 , so ist klar, daß dies nur möglich ist, wenn erstens die letzten Glieder in dem Werthe von $-2\psi_2$ verschwinden, und wenn zweitens die Coëfficienten der ersten neun Glieder sich der Reihe nach auf $G, H, J, L, M, N, P, Q, R$ reduciren. Beiden Forderungen muß genügt werden für jeden beliebigen Werth von θ , unabhängig von den Größen s_1, s_2, s_3 und α, β, γ . Die Erfüllung dieser Forderungen muß daher von Seite der constanten Coëfficienten geleistet werden. Die erste der zwei Forderungen wird offenbar nur befriedigt, wenn

$$G = H = 2N + R$$

$$L = M$$

$$P = Q$$

ist. Substituirt man diese nothwendigen Relationen in die Coëfficienten von s_1^2, s_2^2 u. s. w., so gehen diese Coëfficienten der Reihe nach in $G, H, J, L, M, N, P, Q, R$ über. Die für die erste Forderung nothwendigen Bedingungen genügen daher ebenfalls zur Erfüllung der zweiten und es ist nicht nöthig, zu denselben neue noch hinzuzufügen.

Führt man diese für ein einaxiges Medium gefundenen Relationen in die allgemeinen Bewegungsgleichungen ein, so gehen letztere über in die folgenden:

$$\begin{aligned}
\rho \frac{d^2 u}{dt^2} &= G \frac{d^2 u}{dx^2} + N \frac{d^2 u}{dy^2} + L \frac{d^2 u}{dz^2} + (G - N) \frac{d^2 v}{dx dy} \\
&\quad + (L + P) \frac{d^2 w}{dx dz} \\
\rho \frac{d^2 v}{dt^2} &= N \frac{d^2 v}{dx^2} + G \frac{d^2 v}{dy^2} + L \frac{d^2 v}{dz^2} + (G - N) \frac{d^2 u}{dx dy} \\
&\quad + (L + P) \frac{d^2 w}{dy dz} \\
\rho \frac{d^2 w}{dt^2} &= L \frac{d^2 w}{dx^2} + L \frac{d^2 w}{dy^2} + J \frac{d^2 w}{dz^2} + (L + P) \frac{d^2 u}{dx dz} \\
&\quad + (L + P) \frac{d^2 v}{dy dz}.
\end{aligned}$$

Ganz ähnlich gestalten sich die Gleichungen für das zweite Medium.

Die Bedingungsgleichungen für die Trennungsebene der beiden Medien nehmen nach Substitution obiger Relationen folgende Form an:

$$\begin{aligned}
u &= u'; \quad v = v'; \quad w = w' \\
G \frac{du}{dx} + (G - 2N) \frac{dv}{dy} + P \frac{dw}{dz} &= G' \frac{du'}{dx} + (G' - 2N') \frac{dv'}{dy} + P' \frac{dw'}{dz} \\
N \left(\frac{du}{dy} + \frac{dv}{dx} \right) &= N' \left(\frac{du'}{dy} + \frac{dv'}{dx} \right) \\
L \left(\frac{dw}{dx} + \frac{du}{dz} \right) &= L' \left(\frac{dw'}{dx} + \frac{du'}{dz} \right).
\end{aligned}$$

Diese Gleichungen würden die Gesetze der Reflexion und Brechung beim Uebergange der Bewegung aus einem einaxigen Medium in ein anderes liefern.

Um die für ein einfach brechendes Medium geltenden Gleichungen zu erhalten, hat man zu bemerken, daß für ein solches die symmetrische Lagerung der Theilchen auch um die Axen der x und y statt hat. Die Einführung dieser Eigenschaft des Mediums geschieht auf die nämliche Weise, wie die Einführung der Symmetrie um die Axe der z . Soll Symmetrie rings um die Axe der y stattfinden, so müssen zwischen den constanten Coëfficienten die Beziehungen

$$G = J = 2M + Q$$

$$L = N$$

$$P = R$$

bestehen, und für den Fall der Symmetrie rings um die Axe der x erhält man

$$H = J = 2L + P$$

$$M = N$$

$$Q = R$$

Wenn Symmetrie bereits um zwei der Axen z. B. um die der z und y vorausgesetzt ist, so liefert die Annahme der gleichzeitigen Symmetrie um die Axe der x keine neuen Bedingungen. Ein System von Punkten, welches um zwei der Coordinatenaxen symmetrisch gelagert ist, ist es daher zugleich auch um die dritte.

Für ein einfach brechendes Medium, für welches alle Relationen zugleich statt finden, bestehen also die Bedingungen:

$$G = H = J = 2N + R = 2M + Q = 2L + P$$

$$L = M = N$$

$$P = Q = R$$

und es bleiben nur mehr zwei der Constanten, etwa G und L , unbestimmt übrig. Führt man diese Bedingungen in die allgemeinen Bewegungsgleichungen ein, so gehen sie in die speciellen für ein einfach brechendes Medium geltenden über:

$$\rho \frac{d^2 u}{dt^2} = G \frac{d^2 u}{dx^2} + L \frac{d^2 u}{dy^2} + L \frac{d^2 u}{dz^2} + (G - L) \frac{d^2 v}{dx dy} \\ + (G - L) \frac{d^2 w}{dx dz}$$

$$\rho \frac{d^2 v}{dt^2} = L \frac{d^2 v}{dx^2} + G \frac{d^2 v}{dy^2} + L \frac{d^2 v}{dz^2} + (G - L) \frac{d^2 w}{dy dz} \\ + (G - L) \frac{d^2 u}{dx dy}$$

$$\rho \frac{d^2 w}{dt^2} = L \frac{d^2 w}{dx^2} + L \frac{d^2 w}{dy^2} + G \frac{d^2 w}{dz^2} + (G - L) \frac{d^2 u}{dx dz} \\ + (G - L) \frac{d^2 v}{dy dz}$$

Diese Gleichungen können auch in folgender Form geschrieben werden:

$$\rho \frac{d^2 u}{dt^2} = G \frac{d}{dx} \left(\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz} \right) + L \left(\frac{d^2 u}{dy^2} + \frac{d^2 u}{dz^2} - \frac{d}{dx} \left[\frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz} \right] \right)$$

$$\rho \frac{d^2 v}{dt^2} = G \frac{d}{dy} \left(\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz} \right) + L \left[\frac{d^2 v}{dx^2} + \frac{d^2 v}{dz^2} - \frac{d}{dy} \left(\frac{du}{dx} + \frac{dw}{dz} \right) \right]$$

$$\rho \frac{d^2 w}{dt^2} = G \frac{d}{dz} \left(\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz} \right) + L \left[\frac{d^2 w}{dx^2} + \frac{d^2 w}{dy^2} - \frac{d}{dz} \left(\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} \right) \right]$$

Dieselbe Gestalt haben die Gleichungen für das zweite Medium. Man kann alle drei Gleichungen in eine zusammenziehen, wenn man die erste nach x , die zweite nach y , die dritte nach z differenziert. Setzt man darin:

$$\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz} = \theta,$$

wonach dann θ die Aenderung der Einheit des Volumens, welche durch die Verschiebungen u , v , w hervorgerufen wurde, bedeutet, so ziehen sich die drei Gleichungen in die einzige:

$$\rho \frac{d^2 \theta}{dt^2} = G \left(\frac{d^2 \theta}{dx^2} + \frac{d^2 \theta}{dy^2} + \frac{d^2 \theta}{dz^2} \right)$$

Die Bedingungsgleichungen für die Trennungsebene zweier einfach brechenden Medien sind nun:

$$G \left(\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz} \right) - 2L \left(\frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz} \right) = G' \left(\frac{du'}{dx} + \frac{dv'}{dy} + \frac{dw'}{dz} \right) - 2L' \left(\frac{dv'}{dy} + \frac{dw'}{dz} \right)$$

$$L \left(\frac{du}{dy} + \frac{dv}{dx} \right) = L' \left(\frac{du'}{dy} + \frac{dv'}{dx} \right)$$

$$L \left(\frac{du}{dz} + \frac{dw}{dx} \right) = L' \left(\frac{du'}{dz} + \frac{dw'}{dx} \right)$$

wozu noch die Annahme, daß an der Trennungsebene selbst

$$u = u', \quad v = v', \quad w = w'$$

ist.

Diese Gleichungen sind dieselben, welche Green in seiner Theorie angewendet hat, um die Gesetze für die Erscheinungen der Reflexion und Brechung an der zweien einfach brechenden Medien gemeinschaftlichen Fläche abzuleiten. Diese Gesetze zeigen, in ihrer von Haugton verbesserten Form, mit der Erfahrung dieselbe Uebereinstimmung, wie die Cauchy'schen Intensitätsformeln, obwohl ihr Bau ein verschiedener ist.

IV. *Versuch die Dichtigkeit chemischer Verbindungen theoretisch zu berechnen;* *von A. E. Nordenskiöld.*

I. Einleitung.

Bei jedem Molecül müssen wenigstens zwei Kräfte wirksam seyn, nämlich die anziehende und die abstossende. Die erste folgt denselben Gesetzen, die überhaupt für die Attraction der Körper gelten, und stimmt damit insofern überein, daß die Attraction eines Körpers nur die Summe der Attractionen seiner Molecüle ausmacht. Da nun diese Kraft in unendlich großem Abstände wirkt, so muß sie eine Grundeigenschaft der Molecüle ausmachen und nicht von fremden, sie umgebenden Stoffen abhängig seyn. Ferner muß sie, da die Attraction eines Stoffes durch veränderte Wärmeverhältnisse keine Veränderung erleidet, von freier oder gebundener Wärme u. s. w. ebenfalls unabhängig seyn. Dahingegen ist es klar, daß die Attraction eines jeden Molecüls direct proportional ist dem Moleculargewicht oder der Masse und, sowie die Attraction der Körper überhaupt, umgekehrt proportional dem quadrirten Abstände vom Schwerpunkt des Molecüls. Bezeichnet man daher die Molecularmasse (Moleculargewicht, Aequivalentgewicht)

mit m , den Abstand mit r , so drückt man seine anziehende Kraft durch den Bruch $\frac{m}{r^2}$ aus.

Die Physik zeigt, daß dies die einzige Kraft ist, womit die Körper in größerer Entfernung auf einander wirken. Die abstossende Kraft, die jedem Molecül anerkannt werden muß, wirkt folglich nur auf kürzerem Abstände und scheint von äußeren Eigenschaften abhängig, nicht aber wie die anziehende Kraft eine Grundeigenschaft des Molecüls zu seyn.

Eine nähere Betrachtung der physikalischen Eigenschaften der Gase dürfte zunächst die Gesetze erörtern, die für die abstossende Kraft der Molecüle gelten. Bei diesem Aggregat-Zustande scheint nämlich die abstossende Kraft gänzlich die überwiegende zu seyn.

Sowohl die Physik als die Chemie lehrt uns, daß überhaupt die Gase folgende zwei Grundeigenschaften besitzen:

1. Ein Molecül eines Gases nimmt unter sonst denselben Verhältnissen ungefähr dasselbe Volumen ein, als ein Molecül eines andern Gases.

2. Das Volumen eines Gases ist bei unveränderter Temperatur fast umgekehrt proportional dem auf dasselbe wirkenden Drucke.

Nimmt man an, daß bei gasförmigen Stoffen die abstossende Kraft so vorherrschend sey, daß die anziehende unserer Beobachtung entgehe, so kann man aus oben angeführten Eigenschaften bei den Gasen auf folgende bei der abstossenden Kraft schließen:

1. Die abstossende Kraft ist bei gasförmigen Stoffen unabhängig von ihrem Molecular- oder Aequivalentgewichte.

2. Die abstossende Kraft verhält sich umgekehrt wie die dritte Potenz des Abstandes und kann, wenn man eine von Wärmeverhältnissen u. s. w. unabhängige Größe mit c bezeichnet, durch den Bruch $\frac{c}{r^3}$ ausgedrückt werden.

Wie man leicht finden wird, so ist dieses Verhältniß

eine nothwendige Folge von dem bekannten Gesetze Mariotte's für die Verdichtung der Gase.

Nennt man die Kraft K , vermittelt welcher ein Molecül auf das andere wirkt, so erhält man also dafür den Ausdruck:

$$K = \frac{m}{r^2} - \frac{c}{r^3}.$$

Der Coëfficient von $\frac{1}{r^2}$ ist unter allen Umständen gleich bei demselben Stoffe, verändert sich aber von einem Stoffe zum andern; c ist hingegen abhängig von Wärmeverhältnissen und nimmt namentlich zu, je lockerer die Aggregatform des Stoffes ist, so daß $\frac{c}{r^3}$ bei Gasen gänzlich überhand nimmt, und der Einfluß der anziehenden Kraft fast unmerkbar wird.

Um den starren Aggregatzustand zu erklären, ist es nöthig anzunehmen, daß die Form der Molecüle überhaupt mehr oder weniger von der Gestalt einer Sphäre abweiche. In Folge dessen hat auch die Fläche, die man sich als das Molecül umgebend und gleichen Werthen von K entsprechend denkt, keine sphärische Gestalt. Je mehr man sich vom Molecül entfernt, desto mehr nähert sich diese Fläche einer Sphäre, und ein Stoff nimmt daher einen weniger starren Aggregatzustand an, je entfernter sich die Molecüle von einander lagern, d. h. je größer c wird. Von dem Unterschied zwischen dem größten und kleinsten Radius dieser Fläche für gleiche Werthe von K (für den Werth $K=0$) hängt, d. h. die Härte des Stoffes, oder mit andern Worten die Schwierigkeit ab, die innere Lage der Molecüle zu verändern, von der Form der Fläche aber die Ordnung, in welcher sich die Molecüle gegen einander lagern, oder die Krystallform des Stoffes. Molecüle, deren Flächen bei gleichem Werthe von K gleichartig sind, lagern sich gleichartig gegen einander, und die von denselben gebildeten Stoffe erhalten folglich eine gleichartige Krystallform oder werden isomorph. Wie auch Frankenheim's Untersuchungen gezeigt haben, so dürfte da-

gegen eine wirkliche Amorphie sich kaum mit einer starren Aggregatform vereinigen lassen.

Hier will ich jedoch diese von der Sphäre abweichende Gestalt der Molecüle unberücksichtigt lassen, was wenigstens bei elastisch und unelastisch flüssigen Körpern ganz erlaubt ist, und was auch in vielen Fällen bei festen Körpern ohne Nachtheil geschehen könnte.

Bei starren und flüssigen Stoffen kann man leicht c berechnen, wenn man die Eigenschwere bei einer gewissen Temperatur und bei 0 Millimeter Druck kennt. Man hat dann nämlich:

$$0 = \frac{m}{r^3} - \frac{c}{r^3}$$

$$c = mr$$

oder, weil man r als gleich der Kubikwurzel aus dem Atomvolumen (v) betrachten kann,

$$c = m \sqrt[3]{v}.$$

Was gasförmige Stoffe anbelangt, so findet man zuerst, daß ihre Atomvolumen bei einer gewissen Temperatur und bei einem gewissen Drucke nicht so constant sind als man gewöhnlich annimmt. Denn obgleich das erste Glied ($\frac{m}{r^3}$) bei dieser Aggregatform ganz unbedeutend ist im Vergleich zum zweiten ($\frac{c}{r^3}$), so übt es wahrscheinlich doch einen sehr merkbaren Einfluß aus.

Von der Gleichung $Kr^3 = mr - c$ erhält man nämlich, wenn a und b zwei allen Gasen gemeinsame Constanten bezeichnen:

$$v = a - bmv^{\frac{1}{3}}.$$

Das Atomvolumen eines Gases wird also um so kleiner, je größer sein Aequivalentgewicht ist.

Daß die Atomvolumen der Gase bei bestimmter Temperatur und bestimmtem Drucke nicht ganz constant sind, beweist sowohl die Beobachtung, daß sie bei erhöhter Temperatur nicht ganz gleiche Ausdehnungs-Coëfficienten haben, als auch die, daß sie, wie Regnault gezeigt hat,

selbst nicht bei geringem Druck, Mariotte's Gesetze bei ihrer Verdichtung folgen. Betrachtet man außerdem eine Tabelle, welche die beobachtete und unter Voraussetzung eines constanten Molecular-Volums theoretisch berechnete Dichtigkeit verschiedener Gase darstellt, so findet man, daß die beobachtete Dichtigkeit bei den schwereren Gasen meistens viel größer ist als die berechnete.

Wenn man mit v das Volum bei einem n mal größeren Drucke bezeichnet, so erhält man

$$Kv = mv^{\frac{1}{3}} - c$$

$$nKv' = mv'^{\frac{1}{3}} - c$$

$$\frac{nv'}{v} = \frac{mv'^{\frac{1}{3}} - c}{mv^{\frac{1}{3}} - c}$$

und folglich, wenn man $mv^{\frac{1}{3}}$ und $mv'^{\frac{1}{3}}$, die verhältnißmäßig viel kleiner sind als c , nicht berücksichtigt:

$$\frac{nv'}{v} = \frac{ns}{s'} = 1,$$

welches das bekannte Gesetz Mariotte's für die Verdichtung der Gase mathematisch ausdrückt. Läßt man dagegen das erste Glied im Zähler und Nenner auf der rechten Seite der Gleichung nicht fort, so findet man, daß dieses Gesetz nur eine annähernde Gültigkeit hat. Man erhält nämlich beinahe:

$$\frac{nv'}{v} = 1 + \frac{mv^{\frac{1}{3}}}{c - mv^{\frac{1}{3}}} \left(1 - \frac{1}{n^{\frac{1}{3}}}\right)$$

oder wenn man $q = \frac{v^{\frac{1}{3}}}{c - mv^{\frac{1}{3}}}$ setzt:

$$\frac{nv'}{v} = 1 + mq \left(1 - \frac{1}{n^{\frac{1}{3}}}\right).$$

Schon längst sind zahlreiche Ausnahmen von Mariotte's Gesetz bekannt gewesen, und noch neulich hat Regnault gezeigt, daß dasselbe für keins der von ihm untersuchten Gase vollkommen streng, selbst nicht bei geringerem Druck, gelten kann. Die Werthe aber, die Regnault für das Volum der Gase bei ungleichem Druck erhalten, stimmen jedoch nicht vollkommen mit oben stehen-

der Formel überein. Die Verdichtung der Gase auf der Oberfläche starrer Körper könnten möglicher Weise sehr bedeutende und unvermeidliche Beobachtungsfehler verursachen, die vielleicht den Grund dieser Erscheinung ausmachen.

Nimmt man an, daß die Ausdehnung eines Gases nicht vom äufseren Druck gehindert werde, so findet man:

$$0 = \frac{m}{r^2} - \frac{c}{r^3}$$

$$r^3 = v = \frac{c^3}{m^3},$$

und folglich:

$$s = \frac{m}{v} = \frac{m^4}{c^3}.$$

Ein gasförmiger Stoff müßte sich folglich im leeren Raume nicht unendlich ausdehnen, sondern eine Dichtigkeit annehmen, die sich bei verschiedenen gasförmigen Stoffen verhalten würde, wie die vierte Potenz ihrer Molecular-Gewichte.

Schon Wollaston nahm an, daß der Luftkreis der Erde eine Gränze habe und sich nicht allmählich ins Unendliche ausdehne. Er erklärte dieses freilich nicht dadurch, daß die eigene anziehende Kraft der Molecüle überhand erlangt haben könne über die abstofsende, sondern durch die Annahme, daß das Gewicht der Luft endlich die fernere Ausdehnung verhindere.

Da das Volum eines Stoffes bei veränderter freier Wärme sich verändert, so ist c sichtbar abhängig von der Temperatur (t). Die Eigenschaft der Gase, sich unter constantem Druck bei zunehmender Temperatur gleichförmig auszudehnen, scheint zu beweisen, daß diese Function folgende Form habe:

$$c(1 + nt).$$

Man würde nämlich, wenn v' das Volum bei der Temperatur t , v das Volum bei der Temperatur 0° bezeichnet, erhalten:

$$K = \frac{m}{v'^{\frac{2}{3}}} - \frac{c(1 + nt)}{v} = \frac{m}{v^{\frac{2}{3}}} - \frac{c}{v},$$

und folglich, wenn man die Glieder $\frac{m}{v^{\frac{1}{3}}}$ und $\frac{m}{v^{\frac{2}{3}}}$ nicht berücksichtigt,

$$\frac{v'}{v} = 1 + nt.$$

Läßt man dagegen diese Glieder nicht fort, so erhält man:

$$\frac{v'}{v} = 1 + nt + \frac{m v'}{c} \left(\frac{1}{v^{\frac{1}{3}}} - \frac{1}{v'^{\frac{1}{3}}} \right),$$

Im Fall nun die oben angeführte Annahme richtig wäre, nämlich daß c eine lineare Function der Temperatur t sey, so würden die Gase erstens sich nicht gleichförmig ausdehnen, und die Wärmegrade des Gasthermometers entsprächen folglich nicht vollkommen den wirklichen Temperatur-Veränderungen, und zweitens müßte der Ausdehnungs-Coëfficient der Gase bei erhöhter Temperatur sich von einem Gase zum andern etwas verändern.

Dieser letztere Umstand ist schon längst durch Versuche nachgewiesen. Was den ersteren anbelangt, so betrachtet man gewöhnlich die Ausdehnung der Gase als vollkommen constant und hält daher auch die Grade, die das Gasthermometer andeutet, den wirklichen Veränderungen der Temperatur vollkommen entsprechend.

Wenn die abstossende Kraft auch der starren und flüssigen Stoffe eine lineare Function der Temperatur wäre, so hätte man, im Fall kein äußerer Druck sie verdichtete:

$$mr = c(1 + nt)$$

$$m_s v' = c^3 (1 + nt)^3; m^s v = c^3$$

$$\frac{v'}{v} = (1 + nt)^3.$$

Sowohl bei Gasen als bei starren und flüssigen Körpern hängt c wahrscheinlich nicht bloß von der freien Wärme ab, sondern auch von anderen Wärme-Verhältnissen, die bei veränderter freier Wärme verändert werden, und oben stehende Formeln drücken daher nicht ganz vollständig die von veränderter Temperatur herrührenden Veränderungen im Volum aus.

Starre und flüssige Körper verändern ihr Volum bei verändertem Druck. Nennt man das Verhältniß, welches zwischen der Veränderung, die der äußere Druck erlitten, und der davon abhängigen Volum-Veränderung (reducirt zum Volume = 1), stattfindet, *Verdichtungs-Coëfficient*, so wird er natürlich:

$$= \frac{dv}{v dK} = \frac{dr^3}{r^3 dK} = \frac{3}{r} \cdot \frac{dr}{dK} = \frac{3}{r} \cdot \frac{r^4}{3c - 2rm} = \frac{3r^3}{m}.$$

Der Verdichtungs-Coëfficient bei verschiedenen Stoffen müßte sich daher umgekehrt verhalten wie das Molecular-Gewicht und direct wie die Kubikwurzel aus dem Quadrat des Molecular-Volums. Nennt man z. B. den Verdichtungs-Coëfficienten des Wassers μ , den des Quecksilbers μ' , so erhält man nach oben stehender Theorie:

$$\mu : \mu' = 1 : 0,079.$$

Regnault erhielt durchschnittlich:

$$\mu : \mu' = 1 : 0,074.$$

Diese Zahlen stimmen so genau überein, als man es überhaupt bei so schwer zu bestimmenden Größen verlangen kann.

II. Theoretische Berechnung der Dichtigkeit starrer unorganischer Verbindungen.

Schon längst haben ausgezeichnete Chemiker, wie Schröder, Kopp, Filhol, Joule und Playfair u. a. sich mit der Erforschung des Zusammenhanges beschäftigt, welcher zwischen der Eigenschwere eines zusammengesetzten Körpers und der seiner Bestandtheile statt findet. Bei diesen Berechnungen haben sie stets den Begriff von Molecular- (Atom-, Aequivalent-) Volumen eingeführt und versucht, aus den Molecular-Volumen einfacher Stoffe die der zusammengesetzten zu berechnen, und dieß scheint die Ursache zu seyn, daß die bis jetzt erhaltenen Resultate nicht den Erwartungen entsprachen. Die Größe der Molecular-Volumen sowohl einfacher als zusammengesetzter Stoffe muß nämlich hauptsächlich von dem Verhältniß ab-

hängen, das zwischen der anziehenden und abstossenden Kraft eines jeden Molecüls statt findet. Sobald es also glückt, das Verhältniß zu erforschen, das zwischen den Molecularkräften eines zusammengesetzten Körpers und den seiner Theile da ist, so ist auch wenigstens gröfistentheils die Aufgabe gelöst, die Eigenschwere zusammengesetzter Körper zu berechnen, und es ist sehr wahrscheinlich, dafs die dieses Verhältniß ausdrückende Function viel weniger verwickelt seyn werde, als die, welche das Verhältniß der Molecular-Volume zusammengesetzter Körper und seiner Bestandtheile darstellt.

Die Erfahrung hat gezeigt, dafs Körper, die chemisch gleich zusammengesetzt sind, aber in ungleichen Formen krystallisiren, auch eine ungleiche Eigenschwere haben. Man findet auch sehr leicht, dafs nicht allein der Abstand der Molecüle von einander, sondern auch die Ordnung, in welcher sie gegen einander gelagert sind, oder mit anderen Worten die Krystallform, einen Einflufs auf die Eigenschwere ausüben mufs. So lange die Gesetze dieser Verhältnisse nicht bekannt sind, so lange ist auch eine vollkommen genaue theoretische Berechnung der Dichtigkeit eines Körpers nicht möglich. Bei nachstehend angeführten Berechnungen ist die Krystallform nicht berücksichtigt worden, weshalb sie auch den meistentheils wenig bedeutenden Fehler haben, den diese Aufserachtlassung verursachen kann.

Nimmt man an, dafs bei einem zusammengesetzten Körper die Molecüle, aus denen derselbe besteht, sich unmittelbar an einander lagern und ein neues zusammengesetztes Molecül bilden, so findet man sogleich, dafs die anziehende Kraft oder Masse desselben die Summe der anziehenden Kräfte (Massen) seiner Theile ausmachen mufs. Dagegen ist das Verhältniß weniger deutlich, das zwischen der abstossenden Kraft eines zusammengesetzten Molecüls und derselben Kraft seiner Bestandtheile statt findet.

Wenn M , V , S und C die Masse (das Molecular-Gewicht), das Molecular-Volum, die Eigenschwere und die

abstoßende Kraft in dem Abstände 1 bezeichnen, bei dem zusammengesetzten Molecül, $m, v, s, c \dots m', v', s', c' \dots$, u. s. w. entsprechende Gröfsen bei den Molecülen der Theile, so scheint dieses Verhältniſs durch folgende Gleichung ausgedrückt zu werden:

$$\frac{C}{\sqrt[3]{M}} = \frac{c}{\sqrt[3]{m}} + \frac{c'}{\sqrt[3]{m'}} + \frac{c''}{\sqrt[3]{m''}} + \dots$$

oder aber, wenn man den äufseren Druck nicht in Betracht nimmt, welcher bei starren und flüssigen Körpern keinen merkbaren Einfluß auf die Dichtigkeit ausübt, so erhält man aus der Gleichung:

$$K = \frac{m}{r^2} - \frac{c}{r^3}$$

$$c = \sqrt[3]{r} \cdot M = \frac{M^{\frac{4}{3}}}{S^{\frac{1}{3}}}$$

$$c = \frac{m^{\frac{4}{3}}}{s^{\frac{1}{3}}}; \quad c' = \frac{m'^{\frac{4}{3}}}{s'^{\frac{1}{3}}}, \quad \text{u. s. w.}$$

und folglich:

$$\frac{M}{S^{\frac{1}{3}}} = \frac{m}{s^{\frac{1}{3}}} + \frac{m'}{s'^{\frac{1}{3}}} + \frac{m''}{s''^{\frac{1}{3}}} + \dots$$

Unter Beobachtung verschiedener Umstände, die später berührt werden sollen, kann man mittelst dieser Gleichung leicht S herleiten, wenn man $m, m', m'' \dots s, s', s'' \dots$ kennt.

Man findet, daſs S in dieser Gleichung nur von der relativen und nicht von der absoluten Anzahl der Molecüle eines Stoffes abhängt, so daſs man dieselbe Eigenschwere erhält, wenn man die stöchiometrische Formel z. B. $R^a Q^a$ oder $R^{aa} Q^{aa}$ schreibt. Erstere Annahme giebt für die Bestimmung von S die Gleichung:

$$\frac{M}{S^{\frac{1}{3}}} = \frac{m}{s^{\frac{1}{3}}} + \frac{m'}{s'^{\frac{1}{3}}} + \dots$$

letztere:

$$\frac{aM}{S^{\frac{1}{3}}} = \frac{am}{s^{\frac{1}{3}}} + \frac{am'}{s'^{\frac{1}{3}}} + \dots$$

Die abstoßende Kraft (P, p, p') an der Oberfläche eines

Molecüls ¹⁾ ist, unter der Voraussetzung, daß alle Molecüle dieselbe Dichtigkeit haben, gleich:

$$p = \frac{c}{m} = \frac{r m}{m} = r = \sqrt[3]{v} = \frac{m_3^{\frac{1}{3}}}{s_3^{\frac{1}{3}}}.$$

Man erhält also:

$$\frac{c}{m_3^{\frac{1}{3}}} = \frac{m}{s_3^{\frac{1}{3}}} = p m_3^{\frac{2}{3}},$$

$$P M^{\frac{2}{3}} = p m^{\frac{2}{3}} + p' m'^{\frac{2}{3}} + p'' m''^{\frac{2}{3}} + \dots$$

Die abstossende Kraft an der Oberfläche eines zusammengesetzten Molecüls, multiplicirt mit der Oberfläche desselben Molecüls ($M_3^{\frac{2}{3}}$), ist folglich gleich der Summe entsprechender Gröfsen bei den Molecülen der Theile, oder, wenn man sich anders ausdrückt: die ganze abstossende Kraft an der Oberfläche eines zusammengesetzten Molecüls ist gleich der Summe entsprechender Gröfsen bei den Molecülen der Theile. Obenstehende Formel hat folglich einen sehr annehmbaren theoretischen Grund.

Aus der Gleichung $p = \frac{m_3^{\frac{1}{3}}}{s_3^{\frac{1}{3}}}$ sieht man, daß wenn a Molecüle eines Körpers sich zusammen lagern und ein neues Molecül bilden, jedoch mit Beibehaltung derselben abstossenden Kraft an der Oberfläche des Molecüls wie früher, so wäre die neue Eigenschwere, die der Körper dadurch annimmt, gleich $a \times S$. Im Grunde findet man auch, daß ein Körper, theils in Verbindungen, theils im freien Zustande, mit ungleicher Eigenschwere auftritt. Dieses geschieht jedoch in sehr einfachen Verhältnissen, so lange man die Veränderungen in der Dichtigkeit nicht berücksichtigt, die ungleiche Krystallformen hervorbringen. Deutliche Beweise liefern hiezu: Kalium, Aluminium und Magnesium, sowie Kali-, Thonerde- und Magnesia-Salze, Kupferoxyd und Oxydul, Molybdänsäure und Molybdänoxyd, Graphit und Diamant u. s. w.

Endlich wird die abstossende Kraft bedeutend beim Uebergange vom starren in den flüssigen und noch mehr vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand verändert.

1) Das Wort Molecül wird hier natürlich in einer anderen Bedeutung genommen, als wie z. B., wenn vom Molecular-Volume die Rede ist.

Mit Berücksichtigung dieser Umstände kann man leicht die Eigenschwere zusammengesetzter Körper berechnen. Dieses geht namentlich sehr bequem, wenn man im Voraus für die einfachen Körper und für die Modificationen, mit denen sie in Verbindungen auftreten, die GröÙe $q = \frac{m}{s_j}$ berechnet.

Bei Verbindungen in starrer Aggregatform hat man für die am gewöhnlichsten vorkommenden einfachen Körper:
 Sauerstoff O : $m = 1,000$; $q = 0,740$ (theor. berechn.)
 Wasserstoff H : $m = 0,125$; $q = 0,418$ (theor. berechn.)

Das Wasser tritt sehr verschiedenartig in chemischen Verbindungen auf. Theils spielt es die Rolle der Säure oder Basis, theils erscheint es als Krystallwasser. In ersterem Falle müÙte der oben angeführte von der Eigenschwere des Eises hergeleitete Werth für q angenommen werden. Das Krystallwasser scheint dagegen mit der Eigenschwere 1 in Verbindungen enthalten zu seyn, und man hätte daher für:

H (als Krystallwasser): $m = 1,125$; $s = 1$; $q = 1,125$

Stickstoff N : $m = 1,750$; $q = 1,88$ (theor. berechn.)

Schwefel S : $m = 2,000$; $s = 2,000$; $q = 1,588$

Phosphor P : $m = 3,92$; $s = 1,830$; $q = 3,205$

Chlor Cl : $m = 4,435$; $s = 1,333$; $q = 4,029$.

Obgleich dieser Werth von q eigentlich für Chlor in flüssigem Zustande erhalten wurde und daher, streng genommen, nicht für starre Chlorverbindungen gelten darf, so unterscheidet er sich doch nur wenig von dem durch Berechnung erhaltenen.

Fluor Fl : $m = 2,354$; $q = 1,683$ (theor. berechn.)

Kohlenstoff C : $m = 0,75$

C_α : $s = 1,75$; $q = 0,622$

C_β : $s' = 3,5$; $q = 0,494$

Kohlenstoff tritt sowohl als einfacher Körper, wie in seinen Verbindungen unter zwei ungleichen Formen auf,

als C_β in Diamant, Arragonit, Witherit, Strontianit u. s. w.,
als C_α in den meisten übrigen kohlen sauren Körpern.

Kiesel	$Si : m = 2,668; s = 2,494; q = 1,968$
Kalium	$Ka : m = 4,893;$ $Ka_\alpha : s = 0,865; q = 5,135$ $Ka_\beta : s' = s \times 2; q = 4,076$ $Ka_\gamma : s'' = s \times 3; q = 3,561$
Natrium	$Na : m = 2,897$ $Na_\alpha : s = 0,972; q = 2,925$ $Na_\beta : s' = s \times 2; q = 2,321$ $Na_\gamma : s'' = s \times 3; q = 2,028$
Barium	$Ba : m = 8,568$ $Ba_\alpha : s = 2,739*; q = 6,127$ $Ba : s' = s \times 2; q = 4,862$ $Ba_\gamma : s'' = s \times 3; q = 4,248$
Strontium	$Sr : m = 5,460$ $Sr_\alpha : s = 2,319*; q = 4,125$ $Sr_\beta : s' = s \times 2; q = 3,274$ $Sr_\gamma : s'' = s \times 3; q = 2,860$
Calcium	$Ca : m = 2,50$ $Ca_\alpha : s = 1,846*; q = 2,037$ $Ca_\beta : s' = s \times 2; q = 1,617$ $Ca_\gamma : s'' = s \times 3; q = 1,413$
Magnesium	$Mg : m = 1,50$ $Mg_\alpha : s = 1,743; q = 1,245$ $Mg_\gamma : s'' = s \times 3; q = 0,864$
Aluminium	$Al : m = 3,418$ $Al_\alpha : s = 2,670; q = 2,464$ $Al_\beta : s' = s \times 2; q = 1,956$ $Al_\gamma : s'' = s \times 3; q = 1,708$
Beryllium	$Be : m = 1,742$ $Be_\alpha : s = 2,100; q = 1,360$ $Be_\beta : s' = s \times 2; q = 1,080$ $Be_\gamma : s'' = s \times 3; q = 0,943$

Die mit * bezeichneten Zahlen sind theoretisch berechnet:

Alle diese Körper (Kalium bis Beryllium) sind in den meisten ihrer Verbindungen mit einer zwei bis drei Mal gröfseren Eigenschwere enthalten, als mit welcher sie in ihrem freien Zustande auftreten.

Mangan $Mn : m = 3,449; s = 7,05 (?); q = 1,799$

Eisen $Fe : m = 3,50$

$Fe_{\alpha} : s = 7,844; q = 1,762$

$Fe_{\beta} : s' = s \times 3; q = 1,221$

Kobalt $Co : m = 3,686$

$Co_{\alpha} : s = 8,538; q = 1,803$

$Co_{\beta} : s' = s \times 3; q = 1,250.$

Die Eigenschwere des metallischen Mangans wird sehr ungleich angegeben. Die meisten Manganverbindungen sind jedoch leichter als analoge Eisenverbindungen, weshalb auch die Eigenschwere des Mangans geringer seyn müfste als die des Eisens. Noch viel mehr variiren die Angaben in Hinsicht auf Nickel und Chrom, so dafs ich gezwungen war die Berechnungen der Eigenschwere von Verbindungen, in denen diese Körper enthalten sind, auszuschliessen. Im Pyrit, Arsenikkies und Kobaltkies, sowie vielleicht in allen Verbindungen der Form QS^2 treten Eisen und Kobalt unter der Form von Fe , Co_{β} auf. Diefs ist dagegen im Hauerit (MnS^2) mit dem Mangan nicht der Fall, sowie ein Vergleich der Eigenschwere (3,54) dieses Stoffes sich mit der Eigenschwere des Pyrit (5,0) gleich erweist. Isomorphe Körper scheinen daher mit ungleichen Modificationen in analogen Verbindungen aufzutreten, ohne dafs ihre Isomorphie gestört wird.

Zink $Zn : m = 4,066; s = 6,915; q = 2,134$

Zinn $Sn : m = 7,353; s = 7,290; q = 3,792$

Titan $Ti : m = 3,015; s = 5,280; q = 1,731$

Wolfram $W : m = 11,83$

$W_{\alpha} : s = s' : 2; q = 5,763$

$W_{\beta} : s' = 17,30; q = 4,574$

Molybdän $Mo : m = 5,758$

$Mo_{\alpha} : s = s' : 2; q = 3,541$

$Mo_{\beta} : s' = 8,600; q = 2,810$

In Wolfram- und Molybdänsäure, sowie in wolfram- und molybdänsauren Salzen treten diese Stoffe mit ihren leichteren Modificationen Mo_α , W_α auf.

Arsenik	As: $m = 9,376$; $s = 5,96$; $q = 5,171$
Antimon	Sb: $m = 16,130$; $s = 6,701$; $q = 8,556$
Wismuth	Bi: $m = 26,000$; $s = 9,799$; $q = 12,150$
Blei	Pb: $m = 12,95$
	$Pb_\alpha: s = s' \times \frac{3}{4}$; $q = 6,335$
	$Pb_\beta: s' = 11,39$, $q = 5,756$
Kupfer	Cu: $m = 3,962$
	$Cu_\alpha: s = s' \times \frac{3}{4}$; $q = 2,119$
	$Cu_\beta: s' = 8,721$; $q = 1,925$
Silber	Ag: $m = 13,50$
	$Ag_\alpha: s = s' \times \frac{4}{3}$; $q = 6,630$
	$Ag_\beta: s' = 10,554$; $q = 6,154$

In den von mir untersuchten Blei- und Silberverbindungen treten diese Stoffe meistens in der Form Pb_α , Ag_α auf.

Folgende Beispiele zeigen, wie man mittelst oben angeführter Größen die Eigenschwere zusammengesetzter Körper berechnet:

Liebrit ($\ddot{Fe}^2\ddot{Si} + 3(\frac{2}{3}\ddot{Fe} + \frac{1}{3}\ddot{Ca})^3\ddot{Si}$) besteht aus:

		m	q
27 Molecülen	O	27,000	19,980
4 "	Si	10,672	7,872
10 "	Fe_α	35,000	17,620
3 "	Ca_β	7,500	4,851
		<hr/> 80,172	<hr/> 50,323.

$$\text{Log } 80,172 - \text{lg } 50,323 = 0,20225 = \frac{0,60675}{3} = \frac{\text{lg } S}{3}$$

$$S = 4,044.$$

Wagnerit ($\ddot{Mg}^3\ddot{P} + \text{Mg Fl}$) besteht aus:

		<i>m</i>	<i>q</i>
8 Molekülen	O	8,000	5,920
4 »	Mg _p	6,000	3,456
1 »	P	3,920	3,205
1 »	Fl	2,354	1,683
		<u>20,274</u>	<u>14,264</u>

$$\lg. 20,274 - \lg 14,264 = 0,15270 = \frac{0,45810}{3} = \frac{\lg S}{3}$$

$$S = 2,871.$$

Brochantit ($\text{Cu}\ddot{\text{S}} + 3\text{Cu}\dot{\text{H}}$) besteht aus:

		<i>m</i>	<i>q</i>
10 Molekülen	O	10,000	7,400
4 »	Cu _β	15,848	7,700
1 »	S	2,000	1,588
3 »	H	0,375	1,254
		<u>28,223</u>	<u>17,942</u>

$$\lg 28,223 - \lg 17,942 = 0,19673 = \frac{1}{3}(0,59019) = \frac{1}{3}\lg S$$

$$S = 3,892.$$

Auf ähnliche Weise sind nachstehende Eigenschweren berechnet worden.

	Ka _p	Na _p	Ca _p	Sr _p	Ba _p	Pb _β	Cu _β	Ag _α	Fe _α
Kalihydrat				Ka H ¹)				2,125	2,100 Dalton
Natronhydrat				Na H				2,093	2,000 Dalton
Brucit				Mg H				2,261	2,3 ... 2,4 ²) (Fe, Mn)
Diaspor				Al H				3,262	3,30 ... 3,43 (Fe, Si)
Göthit				Fe H				4,189	4,12 ... 4,37
Limnit				Fe ² H ³				3,813	3,4 ... 3,95
Hydrargillit				Al H ³				2,316	2,34 ... 2,387 (P)
Schwefelsaur. Kali				Ka S				2,424	2,623 Karsten
„ Natron				Na S				2,477	2,462 Kopp; 2,631 Karsten
„ Kalk				Ca S				2,900	2,85 ... 3,05
„ Strontian				Sr S				3,702	3,85 ... 4,00
„ Baryt				Ba S				4,543	4,35 ... 4,50

1) q H ist bei allen Silicaten, sowie auch wenn Wasser als Säure oder Basis (z. B. Rⁿ H) enthalten ist, = 1,158 angenommen (hergeleitet von der Eigenschwere des Eises); befindet sich das Wasser dagegen als Krystallwasser (z. B. Rⁿ Q^m + x H), so ist q H = 1,125 angenommen, (hergeleitet von der Eigenschwere des Wassers).

2) Die Eigenschweren der meisten hier angeführten Mineralien sind aus Naumann's und Miller's Handbüchern der Mineralogie entlehnt.

	Berechnet.	Bcobachtet.
Schwefelsaures Bleioxyd		
„ Silberoxyd	Pb S̄	6,220 6,26 ... 6,30
„ Kupferoxyd	Ag S̄	5,309 5,341 Karsten; 5,410 Filhol
„ Talkerde	Cu S̄	3,645 3,572 Karsten
„ Zinkoxyd	Mg S̄	2,661 2,628 Filhol
	Zn S̄	3,419 3,400 Filhol
Brochantit	Cu S̄ + 3 Cu H̄	3,892 3,87 ... 3,997
Schwefelsaures Manganoxydul	Mn S̄ + 4 H̄	2,127 2,091 Kopp
„ Natron	Na S̄ + 10 H̄	1,444 1,481
„ Zinkoxyd	Zn S̄ + 7 H̄	1,872 1,9 ... 2,1
„ Eisenoxydul	Fe S̄ + 7 H̄	1,838 1,8 ... 1,9
„ Kupferoxyd	Cu S̄ + 5 H̄	2,139 1,9 ... 2,30
„ Talkerde	Mg S̄ + 7 H̄	1,549 1,7 ... 1,8
„ Kalk	Ca S̄ + 2 H̄	2,245 2,28 ... 2,33
„ Eisenoxyd	Fe S̄ + 9 H̄	2,131 2,0 ... 2,1 (Coqvimbit)
Keramohalit	Al S̄ 18 H̄	1,603 1,6 ... 1,7
Websterit	Al S̄ + 9 H̄	1,755 1,6 ... 1,7

Schwefelsaur. Kupferoxyd-Kali	$\text{K}_2\text{S} + \text{CuS} + 6\text{H}$	2,167	2,137 Kopp
" Zinkoxyd-Kali	$\text{K}_2\text{S} + \text{ZnS} + 6\text{H}$	2,128	2,153 Kopp
$\text{Ca}, \text{Ca}_\beta, \text{Ba}_\beta, \text{Sr}_\beta, \text{K}_\alpha, \text{Na}_\gamma, \text{Ag}_\alpha:$			
Kohlensaur. Kalk	CaC	2,754	2,69 ... 2,75
" Talkerde	MgC	2,843	2,88 ... 3,02
" Eisenoxydul	FeC	3,905	3,72 ... 3,92
" Zinkoxyd	ZnC	3,875	4,1 ... 4,5
" Silberoxyd	AgC	6,040	6,070 Karsten
Diallagit	$(\frac{1}{7}\text{Ca} + \frac{2}{9}\text{Mn})\text{C}$	3,585	3,43 ... 3,63
Kohlensaur. Kali	KaC	2,459	2,267 Filhol; 2,264 Karsten
" Natron	NaC	2,543	2,509 Filhol; 2,466 Karsten
Hydromagnesit	$3\text{MgC} + \text{MgH}^4$	2,252	2,14 ... 2,18
Predazzit	$3\text{CaC} + \text{MgH}$	2,665	2,634
Kohlensaur. Natron	$\text{NaC} + 10\text{H}$	1,369	1,454 Playfair
$\text{C}_\beta, \text{Ca}_\beta, \text{Sr}_\beta, \text{Ba}_\beta:$			
Arragonit	CaC	3,005	2,93 ... 3,01

	Berechnet.	Beobachtet.
Kohlensaur. Baryt	BaC	4,298 4,2 ... 4,4
" Strontian	SrC	3,639 3,59 ... 3,63
Alstonit	CaC + BaC	3,792 3,65 ... 3,70
	Ca _β , Cu _β , Fe _α , Al _γ :	
Triplit	(Fe + Mn)P	3,935 3,6 ... 3,8 (Ca)
Wavellit	Al ³ P ² + 12H	2,168 2,3 ... 2,5 (Fe, Fl)
Kakoxen	Fe ² P + 12H	2,353 2,3 ... 2,4
Kraurit	2Fe ² P + 5H	3,359 3,3 ... 3,55
Haidingerit	Ca ² As + 4H	2,929 2,8 ... 2,9
Pharmakolit	Ca ² As + 6H	2,646 2,6 ... 2,8
Erytrin	Co ³ As + 8H	3,164 2,9 ... 3,1 Fe, Ca)
Skorodit	FeAs + 4H	3,448 3,2 ... 3,3
Pharmakosiderit	Fe ³ As ² + 12H	3,311 2,9 ... 3,0 (P)
	C _α , Cu _α (verbunden mit Sauerstoff), Cu _β (verbunden mit H) (?):	
Malachit	CuC + CuH	3,877 3,6 ... 4,0
Azurit	2CuC + CuH	3,833 3,766 ... 3,831

Libethenit	$\text{Cu}^{\text{+}}\ddot{\text{P}} + \text{Cu}^{\text{+}}\text{H}$	3,713	3,6 ... 3,8
Olivenit	$\text{Cu}^{\text{+}}\ddot{\text{As}} + \text{Cu}^{\text{+}}\text{H}$	4,590	4,1 ... 4,38 (P)
Klinoklas	$\text{Cu}^{\text{+}}\ddot{\text{As}} + 3\text{Cu}^{\text{+}}\text{H}$	4,439	4,18 ... 4,36
Euchroit	$\text{Cu}^{\text{+}}\ddot{\text{As}} + \text{Cu}^{\text{+}}\text{H} + 6\text{H}$	3,391	3,35 ... 3,45
<div> <div> <div>Ka_γ</div> <div>Na_γ</div> <div>Ca_β</div> <div>Ba_β</div> <div>Sr_β</div> <div>Pb_α</div> <div>Ag_α</div> </div> </div>			
Salpetersaur. Kali	$\text{K}\ddot{\text{a}}\ddot{\text{N}}$	2,095	2,065 Kopp; 2,101 Karsten
"	$\text{Na}\ddot{\text{N}}$	2,071	2,226 Karsten.
"	$\text{Ca}\ddot{\text{N}}$	2,154	2,240 Filhol.
"	$\text{Ba}\ddot{\text{N}}$	3,108	3,185 Karsten; 3,200 Filhol
"	$\text{Sr}\ddot{\text{N}}$	2,610	2,857 Filhol; 2,810 Karsten
"	$\text{Pb}\ddot{\text{N}}$	4,377	4,400 Karsten
"	$\text{Ag}\ddot{\text{N}}$	4,419	4,355 Karsten
<div> <div>Al_β</div> <div>Fe_α</div> </div>			
Spinell	$\text{Mg}\ddot{\text{Al}}$	3,673	$\left. \begin{array}{l} 3,523 \\ 3,523 \\ 4,322 \end{array} \right\}$
Pleonast	$\text{Fe}\ddot{\text{Al}}$	4,370	
Gahnit	$\text{Zn}\ddot{\text{Al}}$	4,322	

	Berechnet.	Beobachtet.
	$Al_{\gamma}, Fe_{\alpha}, Ca_{\gamma};$	
Talk	$5 \ddot{Mg} \ddot{Si}^1 + \ddot{Mg} \ddot{H}^2$	2,669 2,69 ... 2,80.
Pikrophyll	$2 \ddot{Mg} \ddot{Si} + \ddot{Mg} \ddot{H}_2$	2,516 2,73 (Fe 6,86 Proc.).
Marmolit	$\ddot{Mg}^3 \ddot{Si}^2 + 2 \ddot{Mg} \ddot{H}^2$	2,447 2,44 ... 2,47.
Serpentin	$\ddot{Mg}^3 \ddot{Si}^4 + 6 \ddot{H}$	2,522 2,5 ... 2,7.
Pyrophyllit	$\ddot{Al} \ddot{Si}^3 + \ddot{H}$	2,690 2,7 ... 2,8
Nakrit	$\ddot{Al} \ddot{Si} + 2 \ddot{H}$	2,595 2,35 ... 2,57
Wörthit	$\ddot{Al}^6 \ddot{Si}^5 + 3 \ddot{H}$	3,135 3,0 (Mg)
Okenit	$\ddot{Ca}^3 \ddot{Si}^4 + 6 \ddot{H}$	2,319 2,28 ... 2,36
Sismondin	$\ddot{Fe}^3 \ddot{Si}^2 + 3 \ddot{Al} \ddot{H}$	3,541 3,56
Anthosiderit	$\ddot{Fe} \ddot{Si}^3 + \ddot{H}$	3,017 3,0
Dioplas	$\ddot{Cu}^3 \ddot{Si}^2 + 3 \ddot{H}$	3,318 3,2 ... 3,3
	$K_{\alpha\beta}, Na_{\beta}, Al_{\beta}, Ca_{\beta}, Ba_{\beta};$	
Prehnit	$\ddot{Ca}^2 \ddot{Si} + \ddot{Al} \ddot{Si} + \ddot{H}$	2,826 2,8 ... 3,00
Harmotom	$\ddot{Al} \ddot{Si}^2 + \ddot{Ba} \ddot{Si} + 5 \ddot{H}$	2,586 2,39 ... 2,50 (Ca, K _a , Na

1) So wie in einer vorhergehenden Note bemerkt wurde, ist $q\ddot{H}$ bei allen Silicaten = 1,158 angenommen.

Stilbit	$\ddot{\text{Al}}\ddot{\text{Si}}^3 + \ddot{\text{Ca}}\ddot{\text{Si}} + 5\text{H}$	2,271	2,18 ... 2,22
Desmin	$\ddot{\text{Al}}\ddot{\text{Si}}^3 + \ddot{\text{Ca}}\ddot{\text{Si}} + 6\text{H}$	2,203	2,1 ... 2,2
Laumontit	$3\ddot{\text{Al}}\ddot{\text{Si}}^2 + \ddot{\text{Ca}}^3\ddot{\text{Si}}^2 + 12\text{H}$	2,313	2,2 ... 2,3
Analcim	$3\ddot{\text{Al}}\ddot{\text{Si}}^3 + \ddot{\text{Na}}^3\ddot{\text{Si}}^2 + 6\text{H}$	2,384	2,22 ... 2,28
Natrolit	$\ddot{\text{Al}}\ddot{\text{Si}} + \ddot{\text{Na}}\ddot{\text{Si}} + 2\text{H}$	3,369	2,17 ... 2,29
Skolezit	$\ddot{\text{Al}}\ddot{\text{Si}} + \ddot{\text{Ca}}\ddot{\text{Si}} + 3\text{H}$	2,405	2,20 ... 2,39
Chabasit	$3\ddot{\text{Al}}\ddot{\text{Si}}^2 + \ddot{\text{Ca}}^3\ddot{\text{Si}}^2 + 18\text{H}$	2,144	2,09 ... 2,15
Gmelinit	$3\ddot{\text{Al}}\ddot{\text{Si}}^3 + \ddot{\text{Na}}^3\ddot{\text{Si}}^2 + 18\text{H}$	2,045	2,0 ... 2,1
Comptonit	$3\ddot{\text{Al}}\ddot{\text{Si}} + \ddot{\text{Ca}}^3\ddot{\text{Si}} + 7\text{H}$	2,491	2,35 ... 2,38 (Na)
Nephelin	$2\ddot{\text{Al}}\ddot{\text{Si}} + (\frac{1}{3}\ddot{\text{Na}} + \frac{1}{6}\text{Ka})^2\ddot{\text{Si}}$	2,659	2,58 ... 2,64
Leucit	$3\ddot{\text{Al}}\ddot{\text{Si}}^2 + \text{Ka}^3\ddot{\text{Si}}^3$	2,517	2,4 ... 2,5
Orthoklas	$\ddot{\text{Al}}\ddot{\text{Si}}^3 + \text{Ka}\ddot{\text{Si}}$	2,509	2,53 ... 2,58
Albit	$\ddot{\text{Al}}\ddot{\text{Si}}^3 + \ddot{\text{Na}}\ddot{\text{Si}}$	2,600	2,62 ... 2,67
Oligoklas	$\ddot{\text{Al}}\ddot{\text{Si}}^2 + \ddot{\text{Na}}\ddot{\text{Si}}$	2,626	2,63 ... 2,68
Labrador	$\ddot{\text{Al}}\ddot{\text{Si}} + \ddot{\text{Ca}}\ddot{\text{Si}}$	2,897	2,68 ... 2,74 (H 3 Proc)
$\text{Ca}_\beta, \text{Al}_\beta, \text{Fe}_\alpha:$			
Batrachit	$\ddot{\text{Ca}}^3\ddot{\text{Si}} + \ddot{\text{Mg}}^3\ddot{\text{Si}}$	3,036	3,033

	Berechnet.	Beobachtet.
Olivin	$\text{Mg}^3\ddot{\text{Si}}$	3,132
"	$(\frac{1}{6}\text{Mg} + \frac{1}{6}\text{Fe})^3\ddot{\text{Si}}$	3,373
Tephroït	$\text{Mn}^3\ddot{\text{Si}}$	3,3 ... 3,5
Willemitt	$\text{Zn}^3\ddot{\text{Si}}$	4,179
Lievrit	$\text{Fe}^2\ddot{\text{Si}} + 3(2\text{Fe} + \text{Ca})^3\ddot{\text{Si}}$	4,06 ... 4,12
Andalusit	$\text{Al}^3\ddot{\text{Si}}$	4,032
Wollastonit	$\text{Ca}^3\ddot{\text{Si}}^2$	3,89 ... 4,18 (Fe, Mn, Mg)
Talk - Augit	$\text{Mg}^3\ddot{\text{Si}}^2 + \text{Ca}^3\ddot{\text{Si}}^2$	4,044
Eisen - Augit	$\text{Fe}^3\ddot{\text{Si}}^2 + \text{Ca}^3\ddot{\text{Si}}^2$	3,100
Hypersthen	$\text{Mg}^3\ddot{\text{Si}}^2 + \text{Fe}^3\ddot{\text{Si}}^2$	3,1 ... 3,2
Rhodonit	$\text{Mn}^3\ddot{\text{Si}}^2$	2,825
Geglühter Granat	$\text{Ca}^3\ddot{\text{Si}} + \text{Al}^3\ddot{\text{Si}}$	2,8 ... 2,9
	$\text{Ca}_{\gamma\gamma} \text{Al}_{\gamma\gamma} \text{Be}_{\gamma\gamma} \text{Fe}_{\alpha}$	2,866 } 3,306 }
		2,88 ... 3,5
		3,390
		3,3 ... 3,4
		3,676
		3,61 ... 3,65
		2,985
		2,95
Granat	$\text{Ca}^3\ddot{\text{Si}} + \text{Al}^3\ddot{\text{Si}}$	3,415
"	$\text{Mg}^3\ddot{\text{Si}} + \text{Al}^3\ddot{\text{Si}}$	3,44 ... 3,62
"	$\text{Mn}^3\ddot{\text{Si}} + \text{Al}^3\ddot{\text{Si}}$	3,212
		3,157
		3,805
		3,666 ... 3,775

Granat	$\text{Fe}^{\ddot{2}}\text{Si} + \text{AlSi}$	3,927	} 3,7 ... 4,3
"	$\text{Fe}^{\ddot{2}}\text{Si} + \text{Fe}^{\ddot{2}}\text{Si}$	4,062	
Euklas	$2\text{AlSi} + \text{Be}^{\ddot{2}}\text{Si}$	3,178	3,0 ... 3,1
Smaragd	$\text{BeSi}^{\ddot{2}} + \text{AlSi}^{\ddot{2}}$	2,857	2,67 ... 2,75
Cyanit	$\text{Al}^{\ddot{3}}\text{Si}^{\ddot{2}}$	3,494	3,58 ... 3,62
$W_{\alpha}, Mo_{\alpha}, Pb_{\beta}, Ca_{\gamma}:$			
Wulfenit	$\text{Pb}^{\ddot{2}}\text{Mo}$	6,359	6,3 ... 6,9
Stolzit	$\text{Pb}^{\ddot{2}}\text{W}$	7,853	7,9 ... 8,09
Scheelit	$\text{Ca}\ddot{\text{W}}$	5,914	5,9 ... 6,22
Titanit	$\text{Ca}\ddot{\text{Ti}}^{\ddot{3}} + 2\text{Ca}\ddot{\text{Si}}$	3,425	3,3 ... 3,7
Perowskit	$\text{Ca}\ddot{\text{Ti}}$	4,000	4,0 ... 4,1 (Fe 3 Proc.)
Schorlomit	$2\text{Ca}^{\ddot{2}}\text{Si} + \text{Fe}\ddot{\text{Ti}}^{\ddot{2}}$	3,768	3,783 ... 3,807
$Ca_{\gamma}, Pb_{\beta}, Mg_{\beta}:$			
Apatit	$3\text{Ca}^{\ddot{2}}\text{P} + \text{CaFl}$	3,125	3,18 ... 3,21
Pyromorphit	$3\text{Pb}^{\ddot{2}}\text{P} + \text{PbCl}$	6,940	6,9 ... 7,1
Wagnerit	$\text{Mg}^{\ddot{3}}\text{P} + \text{MgFl}$	2,871	2,98 ... 3,13 (FeMn)

	$\text{Na}_\beta, \text{Al}_\beta, \text{Ca}_\beta:$	Berechnet.	Beobachtet.
Kryolit	$2\text{NaFl} + \text{AlFl}^3$	3,019	2,95 ... 2,97
Chodnewit	$2\text{NaFl} + \text{AlFl}^3$	3,071	3,0 ... 3,08
Flufespath	CaFl	3,183	3,02 ... 3,19
	$\text{Fe}_\alpha, \text{Pb}_\alpha, \text{Ag}_\alpha, \text{Cu}_\alpha:$		
Boulangerit	Pb^3Sb	5,890	5,8 ... 6,0
Heteromorphit	Pb^2Sb	5,671	5,67 ... 5,9
Jamesonit	Pb^3Sb^2	5,524	5,5 ... 5,7
Plagionit	Pb^4Sb^3	5,461	5,4
Zinkenit	PbSb	5,318	5,3 ... 5,35
Skleroklas	Pb^2As	5,416	5,39 ... 5,55
Miargyrit	AgSb	5,333	5,3 ... 5,4
Pyrargyrit	Ag^3Sb	5,903	5,75 ... 5,85
Prousttit	Ag^3As	5,713	5,5 ... 5,6
Melanglas	Ag^6Sb	6,212	6,2 ... 6,3
Wolfsbergit	CuSb	4,692	4,748
Towanit	CuFe	4,285	4,1 ... 4,3

$\text{Fe}_\beta, \text{Fe}_\alpha, \text{Co}_\beta, \text{Co}_\alpha, \text{Ag}_\beta$:

Schwefelkies	"Fe	4,962	4,9	... 5,1 (Pyrit)
Arsenikkies	"Fe + FeAs	5,817	4,65	... 4,9 (Markasit)
Kobaltglanz	"Co + CoAs	6,029	6,0	... 6,2
Smaltin	CoAs	6,570	6,0	... 6,1
Skutterudit	CoAs ² + CoAs	6,991	6,3	... 6,6
Diskrasit	Ag ⁴ Sb	9,449	6,74	... 6,84
			9,4	... 9,8

$\text{K}_\alpha, \text{Na}_\gamma$:

Schwefel - Kalium	Ka	2,399	2,130	Filbol
" Natrium	Na	2,484	2,471	Filbol
" Zinn	"Sn	4,326	4,425	Boullay; 4,600 Karsten
" "	Sn	5,254	5,267	Boullay; 4,852 Karsten
" Mangan	Mn	4,164	4,800	Mohs
Hauerit	"Mn	3,357	3,463	

Ka_γ Na_γ Ba_γ Ca_γ Sr_γ Ag_β Pb_β Fe_α:

	Berechnet.	Beobachtet.
Chlor-Kalium	KaCl	1,856 1,945 Kopp; 1,915 Karsten
» Natrium	NaCl	1,774 2,078 Karsten; 2,240 Filhol
» Baryum	BaCl	3,877 3,860 Boullay; 3,704 Karsten
» Strontium	SrCl	2,963 2,960 Filhol; 2,803 Karsten
» Calcium	CaCl	2,070 2,040 Karsten; 2,24 Filhol
» Silber	AgCl	5,463 5,501 Karsten
» Blei	PbCl	5,608 5,541 Joule und Playfair
» Eisen	FeCl	2,573 2,528 Filhol
Eis	H	0,9169 0,916 Brunner
Kali	Ka _γ	2,572 2,656 Karsten
Natron	Na _γ	2,791 2,805 Karsten
Baryt	Ba _β	4,982 5,456 Filhol; 4,732 Karsten
Strontian	Sr _β	4,168 4,611 Filhol; 3,932 Karsten
Talkerde	Mg _γ	3,786 3,75 (Periklas)
Thonerde	Al _γ	4,362 4,0 ... 4,31
Manganoxyd	Mn	4,924 4,8 ... 4,9 (Braunit)

Mangansuperoxyd	Mn	4,589	4,7	... 5,0
Eisenoxyd	Fe _α	5,277	5,2	... 5,25 (Eisenglanz)
Kobaltoxyd	Co	5,643	5,600	Boullay
Zinkoxyd	Zn	5,477	5,43	... 5,53 (Spartalit)
Kupferoxyd	Cu _β	6,455	6,401	.. 6,43
Kupferoxydul	Cu _α	5,761	5,751	Karsten
Titansäure	Ti	3,810	3,826	(Anatas)
Wolframsäure	W _α	6,411	6,120	Berzelius; 7,140 Karsten
Molybdänsäure	Mo _α	3,513	3,460	Karsten; 3,49 Otto
Molybdänoxyd	Mo _β	5,914	5,606	Berzelius
Antimonoxyd	Sb	5,595	5,566	(Valentinit)
		8,295	8,173	Karsten
Wismuthoxyd	Bi		8,449	Royer und Dumas
Arseniksäure	As	4,256	4,250	Filhol; 3,734 Karsten
<p>Endlich will ich noch der Vollständigkeit wegen einige von mir gemachte Berechnungen anführen, die nicht genügend mit der beobachteten Eigenschwere übereinstimmen, oder die sonst ungewöhnliche Erscheinungen darbieten:</p>				
Schwefelsaures Eisenoxydul	FeS	3,495	2,841	Filhol (sichtbar zu klein)

	Berechnet.	Beobachtet.
Bronzit		
	$(\frac{2}{3}\text{Mg} + \frac{1}{3}\text{Fe})^3\ddot{\text{Si}}^3$	2,798 3,0 ... 3,5
Achmit	$\text{Na}_2\ddot{\text{Si}} + \ddot{\text{Fe}}\ddot{\text{Si}}^2$	3,152 3,43 ... 3,53 (Ti)
Cordierit	$\text{Mg}^7\ddot{\text{Si}}^2 + 3\ddot{\text{Al}}_2\ddot{\text{Si}}$	2,981 2,6 ... 2,7 (H)
Cronstedtit	$\text{Fe}^3\ddot{\text{Si}} + \ddot{\text{Fe}}\text{H}^3(?)$	3,922 3,3 ... 3,4 (Mg 5,1 Proc.)
Thuringit	$3\text{Fe}^3\ddot{\text{Si}} + \ddot{\text{Fe}}^2\ddot{\text{Si}} + 9\text{H}$	3,516 3,15 ... 3,16
Barythydrat	$\text{Ba}_2\text{H} + 8\text{H}$	1,548 1,656 Filhol
Strontianhydrat	$\text{Sr}_2\text{H} + 8\text{H}$	1,345 1,296 Filhol.

Ba H, Sr H, Zn H, die ein sehr fein vertheiltes Pulver bilden, und deren Eigenschwere daher kaum zuverlässig seyn dürfte.

Verschiedene Körper, die viel Krystallwasser enthalten und deren berechnete Eigenschwere etwas zu klein erhalten worden:

Phosphorsaur. Natron	$(2\ddot{\text{Na}}, \text{H})^3\ddot{\text{P}} + 24\text{H}$	1,347 1,525 Joule und Playfair
"	$\text{Na}^3\ddot{\text{P}} + 24\text{H}$	1,435 1,622 Joule und Playfair
Arseniksaur.	$(2\ddot{\text{Na}}, \text{H})^3\ddot{\text{As}} + 24\text{H}$	1,650 1,736 Joule und Playfair
"	$\text{Na}^3\ddot{\text{As}} + 24\text{H}$	1,733 1,804 Joule und Playfair
Pyrophosphorsaur. Natron	$\text{Na}^3\ddot{\text{P}} + 10\text{H}$	1,617 1,836 Joule und Playfair
Kali-Alaun	$\text{K}_2\ddot{\text{S}} + \ddot{\text{Al}}\ddot{\text{S}}^3 + 24\text{H}$	1,624 1,724 Kopp
Natron-Alaun	$\text{Na}\ddot{\text{S}} + \ddot{\text{Al}}\ddot{\text{S}}^3 + 24\text{H}$	1,607 1,6 ... 1,88.

Eine Menge namentlich solcher Oxyde, Sulphurete und Oxysulphurete, deren Eigenschwere an einem zu fein vertheilten Materiale bestimmt wurde.

Betrachtet man die hier angeführte Uebersicht der berechneten und beobachteten Eigenschwere starrer unorganischer Verbindungen, so findet man, dafs ein grofser Theil derselben durch eine sehr einfache und naturgemäfsse Berechnungsweise erhalten wird, aber auch, dafs man genöthigt ist, zur Erhaltung eines anderen Theiles derselben zu sehr verwickelte Reductionszahlen anzuwenden, als dafs sie auf ein Naturgesetz begründet seyn könnten. Die einfache Art, vermittelst welcher, wie in der folgenden Abtheilung gezeigt werden wird, die Eigenschwere flüssiger organischer Verbindungen sich nach obenstehenden Principien berechnen läfst, könnte einen Grund geben, die Frage aufzuwerfen: ob nicht auch bei unorganischen Verbindungen die verwickelteren Reductionen dadurch vermieden werden könnten, dafs deren Formeln nach demselben Princip geschrieben würden, als von Gerhardt u. a. für organische Verbindungen angewandt worden? Die Reductionen, die bei oben angeführten Berechnungen der Eigenschwere unorganischer Verbindungen vorkommen, sind jedenfalls verhältnifsmäfsig viel weniger und einfacher, als sie z. B. Schröder anwendet. Hier wird nämlich nur angenommen, dafs ein Stoff in seinen Verbindungen mit einer Eigenschwere enthalten ist, die 1, 2, 3, $\frac{3}{2}$ oder $\frac{1}{2}$ Mal gröfser ist als er sie im freien Zustande besitzt. Schröder

dagegen multiplicirt bei seinen Berechnungen die Molecular - Volume der einfachen Stoffe mit den Zahlen 2, 3, 4, 8; $1\frac{2}{3}$; $2\frac{1}{3}$; $3\frac{1}{3}$; $4\frac{2}{3}$; $5\frac{1}{3}$; $6\frac{2}{3}$; $7\frac{1}{3}$; $8\frac{2}{3}$; $9\frac{1}{3}$).

III. Theoretische Berechnung der Dichtigkeit flüssiger organischer Verbindungen.

Von dem vorher angeführten Princip ausgehend, nämlich das die ganze abstofsende Kraft an der Oberfläche eines zusammengesetzten Molecüls gleich ist der Summe entsprechender Gröfsen bei den Molecülen seiner Theile, oder

$$\frac{M}{S_1} = \frac{m}{s_1'} + \frac{m'}{s_1''} + \frac{m''}{s_1'''} + \dots$$

kann man auch die Eigenschwere flüssiger organischer Verbindungen berechnen. Durch die Anwendung der Typentheorie Gerhardt's bei der Betrachtung der theoretischen Zusammensetzung der verschiedenen Körper, können die vielen einestheils sehr willkürlichen Reductionen, die man bei der Berechnung der Eigenschwere starrer Körper anwenden muß, gänzlich vermieden werden. Man muß nur, wie dieses auch Hr. Kopp bei seinen ausgezeichneten Untersuchungen der physikalischen Eigenschaften der Flüssigkeiten in Hinsicht auf das Volum nachgewiesen hat, annehmen, das ein einfacher Körper eine verschiedene abstofsende Kraft hat, wenn er entweder im Radical enthalten ist, oder ausserhalb desselben steht, bisweilen auch eine verschiedene in den verschiedenen Typen.

Daher würde man bei einer Temperatur von 0° haben:

1) H. Schröder: Allgemeine Begründung der Volumentheorie. Poggendorff's Annalen Bd. L, S. 553 (1840).

Im Radical	$qC^{(1)}$	qH	qO	qO	qS	qCl	qBr	qI
Im Typus $\begin{matrix} H \\ H \end{matrix} \left\{ O_2 \right.$	0,648	0,291	0,858	1,665	1,650	3,601	6,925	
Im Typus $\begin{matrix} H \\ H \end{matrix} \left\{ \begin{matrix} H \\ H \end{matrix} \right\}, Cl \}$ u. s. w.		0,078	1,022					
Im Typus $\begin{matrix} H \\ H \end{matrix} \left\{ \begin{matrix} H \\ H \end{matrix} \right\}, Cl \}$ u. s. w.		0,748				4,146	7,865	11,472
Im Typus $\begin{matrix} H \\ H \\ H \end{matrix} \left\{ N \right.$		0,291		1,665				
Im Typus $\begin{matrix} H \\ H \\ H \end{matrix} \left\{ S^2 \right.$		0,291			1,913			

$$mH = 0,125; \quad mC = 0,750; \quad mO = 1,00; \quad mN = 1,750; \quad mS = 2,000; \quad mCl = 4,435; \\ mBr = 10,000, \quad mJ = 15,860.$$

Vermittelst dieser Gröfsen und der Gleichung $\frac{M}{S^2} = \frac{m}{s^2} + \frac{m'}{s^2} + \frac{m''}{s^2} + \dots$ oder $Q = q + q' + q'' + \dots$ kann man die Eigenschwere berechnen z. B.

- 1) Diese Berechnungen gründen sich meistens auf H. Kopp's zahlreiche und genaue Bestimmungen der Eigenschwere. Sie sind aus der Eigenschwere der organischen Verbindungen berechnet, ohne Rücksicht auf die Dichtigkeit der unorganischen Verbindungen, welche die Typen selbst ausmachen. Sowie man leicht findet, können diese Werthe für die abstoßende Kraft der in organischen Verbindungen enthaltenen einfachen Körper nicht mit entsprechenden Zahlen in vorhergehender Abtheilung übereinstimmen, theils wegen der verschiedenen Aggregatform der in diesen Abtheilungen behandelten Körper, theils wegen der ganz verschiedenen stöchiometrischen Theorie, worauf sich die Betrachtung der Zusammensetzung der unorganischen und organischen Verbindungen gründet.

Acetaldehyd	$\text{C}_4\text{H}_3\text{O}_2$ H	bestehend aus:	Essigsäure	$\text{C}_4\text{H}_3\text{O}_2$ H	O_2 bestehend aus:
	$\begin{matrix} m & q \\ 3,000 & 2,592 \end{matrix}$			$\begin{matrix} m & q \\ 3,000 & 2,592 \end{matrix}$	
4 Molecülen C			4 Molecülen C		
3 Molecülen H (im Radical)		$\begin{matrix} 0,873 \\ 0,500 \end{matrix}$	3 Molecülen H (im Radical)		$\begin{matrix} 0,873 \\ 0,500 \end{matrix}$
1 Molecül H (im Typus)		0,748	1 Molecül H (im Typus)		0,078
2 Molecülen O (im Radical)		$\begin{matrix} 2,000 \\ 5,500 \end{matrix}$	2 Molecülen O (im Typus)		$\begin{matrix} 1,716 \\ 4,000 \end{matrix}$
		<u>5,929</u>	2 Molecülen O (im Typus)		<u>2,044</u>
					<u>7,50</u>
					7,303

$$S = \left(\frac{5,500}{5,929} \right)^3 = 0,7983.$$

$$S = \left(\frac{7,50}{7,303} \right)^3 = 1,0831.$$

In ähnlicher Weise ist nachstehend die Eigenschwere flüssiger organischer Verbindungen berechnet:

	Berechnet bei 0° Temp.	Beobachtet ¹⁾
Methylalkohol	$\text{C}_2 \begin{matrix} \text{H}_3 \\ \text{H} \end{matrix} \} \text{O}_2$	0,8100 0,8138 ... 0,8207 (0°)
Aethylalkohol	$\text{C}_4 \begin{matrix} \text{H}_5 \\ \text{H} \end{matrix} \} \text{O}_2$	0,8098 0,8056 ... 0,8151 (0°)
Butylalkohol	$\text{C}_8 \begin{matrix} \text{H}_9 \\ \text{H} \end{matrix} \} \text{O}_2$	0,8096 0,8032 (18°,5) Wurtz

Amylalkohol	$\left. \begin{matrix} C_{10} H_{11} \\ H \end{matrix} \right\}$	O_2	0,8095	0,8248 ... 0,8297 (0°)
Caprylalkohol	$\left. \begin{matrix} C_{18} H_{17} \\ H \end{matrix} \right\}$	O_2	0,8094	0,792 Wills; 0,823 (17°)
Benzylalkohol	$\left. \begin{matrix} C_{14} H_7 \\ H \end{matrix} \right\}$	O_2	1,0622	1,0628 (0°) Kopp
Ameisensäure	$\left. \begin{matrix} C_2 H O_2 \\ H \end{matrix} \right\}$	O_2	1,1907	1,2227 (0°) Kopp; 1,1051 (0°) Frankenb.
Essigsäure	$\left. \begin{matrix} C_2 H_3 O_2 \\ H \end{matrix} \right\}$	O_2	1,0831	1,0801 (0°) Kopp
Propionsäure	$\left. \begin{matrix} C_3 H_5 O_2 \\ H \end{matrix} \right\}$	O_2	1,0227	1,0161 (0°) Kopp

1) Leider hatte ich nicht stets Gelegenheit, diese Eigenschwere direct aus den Abhandlungen anzuführen, in denen sie zuerst mitgetheilt waren, sondern war oft genöthigt sie aus größeren chemischen Handbüchern zu nehmen, worin nicht immer der Name des Beobachters angegeben war. Größtentheils erhielt ich sie jedoch aus H. Kopp's, in Pogg. Annal. und Annalen der Chem. u. Pharm. veröffentlichten zahlreichen Bestimmungen der Eigenschwere von Flüssigkeiten u. s. w., sowie aus desselben Naturforschers in Annal. d. Chem. u. Pharm. gedruckten Beiträgen zur Stöchiometrie der physikalischen Eigenschaften chemischer Verbindungen (bis Bd. XXIV, Heft 1, October 1856.) Anstatt der directen Beobachtungen bei veränderlicher Temperatur habe ich der leichteren Vergleichung wegen, woselbst es möglich war, die Zahlen angeführt, die H. Kopp, indem er sie auf 0° reducirt, erhielt; bisweilen habe ich jedoch nur die Grenzen angegeben, zwischen denen die auf 0° reducirt Eigenschwere liegt.

		Berechnet bei 0° Temp.	Beobachtet
Buttersäure	$\left. \begin{matrix} C_8 & H_7 & O_2 \\ & H & \end{matrix} \right\} O_2$	0,9840	0,9886 (0°) Kopp; 0,9775 ... 0,9906 (0°)
Valeriansäure	$\left. \begin{matrix} C_{10} & H_9 & O_2 \\ & H & \end{matrix} \right\} O_2$	0,9573	0,9555 (0°) Kopp; 0,9490 ... 0,9560 (0°)
Methyl-Salicylsäure	$\left. \begin{matrix} C_{16} & H_7 & O_4 \\ & H & \end{matrix} \right\} O_2$	1,1842	1,1969 (0°) Kopp
Essigsäure - Anhydrid	$\left. \begin{matrix} C_4 & H_3 & O_2 \\ C_4 & H_3 & O_2 \end{matrix} \right\} O_2$	1,0856	1,0969 (0°) Kopp
Buttersäure - Anhydrid	$\left. \begin{matrix} C_8 & H_7 & O_2 \\ C_8 & H_7 & O_2 \end{matrix} \right\} O_2$	0,9750	0,978 (12°,5) Gerhardt
Valeriansäure - Anhydrid	$\left. \begin{matrix} C_{10} & H_9 & O_2 \\ C_{10} & H_9 & O_2 \end{matrix} \right\} O_2$	0,9472	0,934 (15°) Chiozza
Oenanthylsäure - Anhydrid	$\left. \begin{matrix} C_{14} & H_{13} & O_2 \\ C_{14} & H_{13} & O_2 \end{matrix} \right\} O_2$	0,9127	0,92 (11°) Chiozza und Malerba
Oenanthyl - Benzoësäure - Anhydrid	$\left. \begin{matrix} C_{14} & H_{13} & O_2 \\ C_{14} & H_5 & O_2 \end{matrix} \right\} O_2$	1,0413	1,043 Chiozza und Malerba
Benzoë-Cuminsäure-Anhydrid	$\left. \begin{matrix} C_{14} & H_5 & O_2 \\ C_{20} & H_{11} & O_2 \end{matrix} \right\} O_2$	1,1298	1,115 (23°) Gerhardt

Ameisensaures Methyl	$\text{C}_2 \begin{Bmatrix} \text{H} & \text{O}_2 \\ \text{C}_2 & \text{H}_3 \end{Bmatrix}$	O_2	0,9936	0,9984 (0°) Kopp
„ Aethyl	$\text{C}_2 \begin{Bmatrix} \text{H} & \text{O}_2 \\ \text{C}_4 & \text{H}_6 \end{Bmatrix}$	O_2	0,9547	0,9447 (0°) Kopp
„ Amyl	$\text{C}_2 \begin{Bmatrix} \text{H} & \text{O}_2 \\ \text{C}_{10} & \text{H}_{11} \end{Bmatrix}$	O_2	0,8983	0,8996 (0°) Delffs; 0,8945 (0°) Kopp
Essigsaures Methyl	$\text{C}_4 \begin{Bmatrix} \text{H}_3 & \text{O}_2 \\ \text{C}_2 & \text{H}_3 \end{Bmatrix}$	O_2	0,9547	0,9562 (0°) Kopp; 0,9447 (0°) Dumas
„ Aethyl	$\text{C}_4 \begin{Bmatrix} \text{H}_3 & \text{O}_2 \\ \text{C}_4 & \text{H}_6 \end{Bmatrix}$	O_2	0,9293	9,9105 (0°) Kopp; 0,9069 (0°) Pierre
„ Butyl	$\text{C}_4 \begin{Bmatrix} \text{H}_3 & \text{O}_2 \\ \text{C}_8 & \text{H}_9 \end{Bmatrix}$	O_2	0,8983	0,9004 (0°) Wurtz
„ Amyl	$\text{C}_4 \begin{Bmatrix} \text{H}_3 & \text{O}_2 \\ \text{C}_{10} & \text{H}_{11} \end{Bmatrix}$	O_2	0,8880	0,8837 (0°) Kopp
Propionsaures Aethyl	$\text{C}_6 \begin{Bmatrix} \text{H}_6 & \text{O}_2 \\ \text{C}_4 & \text{H}_6 \end{Bmatrix}$	O_2	0,9115	0,9231 (0°) Kopp
Buttersaures Methyl	$\text{C}_8 \begin{Bmatrix} \text{H}_7 & \text{O}_2 \\ \text{C}_2 & \text{H}_3 \end{Bmatrix}$	O_2	0,9115	0,9210 (0°) Kopp; 0,9091 (0°) Kopp
„ Aethyl	$\text{C}_8 \begin{Bmatrix} \text{H}_7 & \text{O}_2 \\ \text{C}_4 & \text{H}_6 \end{Bmatrix}$	O_2	0,8983	0,9019 (0°) Pierre; 0,9041 (0°) Kopp

		Berechnet für 0° Temp.	Beobachtet
Valeriansaures Methyl	$\text{C}_{10}\text{H}_9\text{O}_2$ C_2H_5	O_2	0,9015 (6°) Kopp; 0,8960 (0°) Kopp
„ Aethyl	$\text{C}_{10}\text{H}_9\text{O}_2$ C_4H_9	O_2	0,8880
„ Amyl	$\text{C}_{10}\text{H}_9\text{O}_2$ $\text{C}_{10}\text{H}_{11}$	O_2	0,8679
Benzoësaures Methyl	$\text{C}_{14}\text{H}_5\text{O}_2$ C_2H_5	O_2	1,1025
„ Aethyl	$\text{C}_{14}\text{H}_5\text{O}_2$ C_4H_9	O_2	1,0696
„ Amyl	$\text{C}_{14}\text{H}_5\text{O}_2$ $\text{C}_{10}\text{H}_{11}$	O_2	1,0040
Zimmtsaaures Methyl	$\text{C}_{18}\text{H}_7\text{O}_2$ C_2H_5	O_2	1,0978
„ Aethyl	$\text{C}_{18}\text{H}_7\text{O}_2$ C_4H_9	O_2	1,0702
Aethyl-Aether	C_4H_9 C_4H_9	O_2	0,7596
Amyl-Aether	$\text{C}_{10}\text{H}_{11}$ $\text{C}_{10}\text{H}_{11}$	O_2	0,7854
			0,7400 (0°) Gay-Lussac; 0,7366 (0°) Kopp
			0,7790 (22°)

Butyl-Aethyl-Aether	$\left. \begin{matrix} C_9 H_9 \\ C_4 H_6 \end{matrix} \right\} O_2$	0,7728	0,7507
Phenyl-Methyl-Aether	$\left. \begin{matrix} C_{12} H_5 \\ C_2 H_5 \end{matrix} \right\} O_2$	1,0125	0,991
Acetaldehyd	$\left. \begin{matrix} C_4 H_3 O_2 \\ H \end{matrix} \right\}$	0,7983	0,8009 (0°) Kopp
Butaldehyd	$\left. \begin{matrix} C_8 H_7 O_2 \\ H \end{matrix} \right\}$	0,8025	0,800 (15°) Guckelberger; 0,821 (22°) Chancel
Valeraldehyd	$\left. \begin{matrix} C_{10} H_9 O_2 \\ H \end{matrix} \right\}$	0,8036	0,8197 (0°) Personne; 0,8224 (0°) Kopp
Benzaldehyd	$\left. \begin{matrix} C_{14} H_6 O_2 \\ H \end{matrix} \right\}$	1,0611	1,0636 (0°) Kopp
Cumylaldehyd	$\left. \begin{matrix} C_{20} H_{11} O_2 \\ H \end{matrix} \right\}$	0,9800	0,9832 (0°) Kopp
Amyl-Wasserstoff	$\left. \begin{matrix} C_{10} H_{11} \\ H \end{matrix} \right\}$	0,6427	0,6385 (14°)
Phenyl-Wasserstoff	$\left. \begin{matrix} C_{12} H_6 \\ H \end{matrix} \right\}$	0,9326	0,8991 (0°) Kopp
Tumyl-Wasserstoff	$\left. \begin{matrix} C_{23} H_{13} \\ H \end{matrix} \right\}$	0,8782	0,8778 (0°) Kopp

	Berechnet für 0° Temp.	Beobachtet
Butyl	$\left. \begin{array}{l} \text{C}_8 \text{ H}_9 \\ \text{C}_8 \text{ H}_9 \end{array} \right\}$ 0,7613	0,7135 0°) Kopp ¹⁾
Amyl	$\left. \begin{array}{l} \text{C}_{10} \text{ H}_{11} \\ \text{C}_{10} \text{ H}_{11} \end{array} \right\}$ 0,7705	0,7704 (10°) ¹⁾
Aceton	$\text{C}_4 \text{ H}_2 (\text{C}_2 \text{ H}_3) \text{ O}_2$ $\left. \begin{array}{l} \text{H} \\ \text{H} \end{array} \right\}$	0,8009
"	$\text{C}_4 \left. \begin{array}{l} \text{H}_3 \text{ O}_2 \\ \text{C}_2 \text{ H}_3 \end{array} \right\}$ 0,9597 ²⁾	0,8111 (0°) Liebig; 0,8144; (0°) Kopp
Butyron	$\text{C}_8 \text{ H}_6 (\text{C}_6 \text{ H}_7) \text{ O}_2$ $\left. \begin{array}{l} \text{H} \\ \text{H} \end{array} \right\}$	0,8049
"	$\text{C}_8 \left. \begin{array}{l} \text{H}_7 \text{ O}_2 \\ \text{C}_6 \text{ H}_7 \end{array} \right\}$ 0,8814	0,83 Chancel
Aethylsulhydrat	$\text{C}_4 \left. \begin{array}{l} \text{H}_5 \\ \text{H} \end{array} \right\} \text{ S}_2$ 0,8555	0,8414 (15°) Zeise
Amylsulhydrat	$\text{C}_{10} \left. \begin{array}{l} \text{H}_{11} \\ \text{H} \end{array} \right\} \text{ S}_2$ 0,8363	0,8523 (0°) Kruttsch; 0,8548 (0°) Kopp

1) Die Eigenschwere dieser beiden Stoffe dürfte kaum so verschieden seyn, als die Bestimmungen es hier angeben.

2) Um ein Beispiel anzugeben, welchen Einfluß die Art, eine Formel zu schreiben, auf die theoretische Eigenschwere ausüben kann, habe ich die Eigenschwere dieser Stoffe für die beiden verschiedenen dafür aufgestellten Formeln berechnet.

Methylsulfuret	$\left. \begin{matrix} \text{C}_2 & \text{H}_8 \\ \text{C}_2 & \text{H}_8 \end{matrix} \right\}$	S_2	0,8555	0,8435 (21°) Regnault
Aethylsulfuret	$\left. \begin{matrix} \text{C}_4 & \text{H}_6 \\ \text{C}_4 & \text{H}_6 \end{matrix} \right\}$	S_2	0,8406	0,8440 (0°) Regnault; 0,8367 (0°) Pierre
Methyldisulfuret	$\left. \begin{matrix} \text{C}_2 & \text{H}_8 & \text{S}_2 \\ \text{C}_2 & \text{H}_8 & \end{matrix} \right\}$	S_2	1,0767	1,0645 (0°) Cahours; 1,0636 (0°) Pierre
Aethyldisulfuret	$\left. \begin{matrix} \text{C}_4 & \text{H}_6 & \text{S}_2 \\ \text{C}_4 & \text{H}_6 & \end{matrix} \right\}$	S_2	1,0060	1,000 (ungefähr)
Amyldisulfuret	$\left. \begin{matrix} \text{C}_{10} & \text{H}_{11} & \text{S}_2 \\ \text{C}_{10} & \text{H}_{11} & \end{matrix} \right\}$	S_2	0,9188	0,918 (18°) O. Henry
Aethylamin	$\left. \begin{matrix} \text{H} \\ \text{C}_4 & \text{H}_6 \\ & \text{H} \end{matrix} \right\}$	N	0,7138	0,6964 (8°) Wurtz
Amylamin	$\left. \begin{matrix} \text{H} \\ \text{C}_{10} & \text{H}_{11} \\ & \text{H} \end{matrix} \right\}$	N	0,7579	0,7503 (18°) Wurtz
Caprylamin	$\left. \begin{matrix} \text{H} \\ \text{C}_{16} & \text{H}_{17} \\ & \text{H} \end{matrix} \right\}$	N	0,7741	0,786 Squire
Anilin	$\left. \begin{matrix} \text{H} \\ \text{C}_{12} & \text{H}_5 \\ & \text{H} \end{matrix} \right\}$	N	1,0389	1,0361 (0°) Kopp

		Berechnet für 0° Temp.	Beobachtet
Aethylanilin	$\left. \begin{array}{l} C_{12} H_6 \\ C_4 H_5 \\ H \end{array} \right\} N$	0,9787	0,954 (18°) Hofmann
Diaethylanilin	$\left. \begin{array}{l} C_{12} H_5 \\ C_4 H_5 \\ C_4 H_5 \end{array} \right\} N$	0,9456	0,936 (18°) Hofmann
Salpetersaur. Methyl	$\left. \begin{array}{l} C_2 H_2 (NO_2) \\ H \end{array} \right\} O_2$	1,1844	1,182 (20°) Dumas und Peligot
" Aethyl	$\left. \begin{array}{l} C_4 H_4 (NO_2) \\ H \end{array} \right\} O_2$	1,1134	1,1322 (0°) Kopp
" Amyl	$\left. \begin{array}{l} C_{10} H_{10} (NO_2) \\ H \end{array} \right\} O_2$	1,0029	0,994 (10°)
Salpetrigsaur. Methyl	$\left. \begin{array}{l} C_3 H_3 (NO_2) \\ H \end{array} \right\}$	0,9624	ungef. 0,991 (15°) Strecker
" Aethyl	$\left. \begin{array}{l} C_4 H_4 (NO_2) \\ H \end{array} \right\}$	0,9310	0,947 (15°) Liebig; 0,900 (15°,5) Brown
" Amyl	$\left. \begin{array}{l} C_{10} H_{10} (NO_2) \\ H \end{array} \right\}$	0,8847	0,8773 Riecher
Nitrobenzol	$\left. \begin{array}{l} C_{12} H_6 \\ NO_2 \end{array} \right\}$	1,2357	1,2234 (0°) Mitscherlich; 1,2002 (0°) Kopp

Schwefelsaur. Aethyl	$\text{C}_4 \text{ H}_4 (\text{SO}_2) \left\{ \begin{array}{l} \text{O}_2 \\ \text{H} \end{array} \right\}$	1,1288	1,120
Schwefligsaur. Aethyl	$\text{C}_4 \text{ H}_4 (\text{SO}) \left\{ \begin{array}{l} \text{O}_2 \\ \text{H} \end{array} \right\}$	1,0880	1,1016 (0°) Ebelmen und Bouquet; 1,1063 Pierre
Methylbromur	$\text{C}_2 \text{ H}_2 \left\{ \begin{array}{l} \text{Br}_2 \\ \text{Br} \end{array} \right\}$	1,6572	1,6644 (0°) Pierre
Bromoform	$\text{C}_2 \text{ H Br}_2 \left\{ \begin{array}{l} \text{Br} \\ \text{Br} \end{array} \right\}$	2,4999	2,13 ¹⁾ Löwig
Aethylbromur	$\text{C}_4 \text{ H}_6 \left\{ \begin{array}{l} \text{Br}_2 \\ \text{Br} \end{array} \right\}$	1,4965	1,4733 (0°) Pierre
Butylbromur	$\text{C}_8 \text{ H}_9 \left\{ \begin{array}{l} \text{Br}_2 \\ \text{Br} \end{array} \right\}$	1,3058	1,274 (16°) Kolbe
Amylbromur	$\text{C}_{10} \text{ H}_{11} \left\{ \begin{array}{l} \text{Br}_2 \\ \text{Br} \end{array} \right\}$	1,2449	1,1658 (0°) Pierre
Vinylbromur-Bromwasserstoff	$\text{C}_4 \text{ H}_3 \text{ Br}_2 \left\{ \begin{array}{l} \text{H} \\ \text{H} \end{array} \right\}$	2,2021	0,1629 (20°, 8) Pierre
Allylbromur-Bromwasserstoff	$\text{C}_6 \text{ H}_5 \text{ Br}_2 \left\{ \begin{array}{l} \text{H} \\ \text{H} \end{array} \right\}$	2,0302	1,97

1) Vergleicht man die Eigenschwere von Bromallylbromur-Bromwasserstoff und Bromoform, so findet man, daß die von Löwig für Bromoform erhaltene Eigenschwere zu klein seyn muß.

	Berechnet für 0° Temp.	Beobachtet
Bromallylbromur-Brom- wasserstoff	$\left. \begin{matrix} C_6 & H_4 & Br_3 \\ & & H \end{matrix} \right\}$ 2,3092	2,336
Dibromallylbromur-Brom- wasserstoff	$\left. \begin{matrix} C_4 & H_3 & Br_4 \\ & & H \end{matrix} \right\}$ 2,4880	2,469
Tribromallylbromur-Brom- wasserstoff	$\left. \begin{matrix} C_2 & H_2 & Br_6 \\ & & H \end{matrix} \right\}$ 2,6125	2,601
Bromallylbromur	$\left. \begin{matrix} C_6 & H_4 & Br \\ & & Br \end{matrix} \right\}$ 2,0001	1,95
Methyljodür	$\left. \begin{matrix} C_2 & H_3 \\ & & I \end{matrix} \right\}$ 2,1976	2,1992 (0°) Pierre
Aethyljodür	$\left. \begin{matrix} C_4 & H_6 \\ & & I \end{matrix} \right\}$ 1,9793	1,9755 (0°) Pierre; 1,9808 (0°) Frankland
Amyljodür	$\left. \begin{matrix} C_{10} & H_{11} \\ & & I \end{matrix} \right\}$ 1,5989	1,5207 (0°) Grimm; 1,4676 (0°) Kopp
Chloräethyl	$\left. \begin{matrix} C_4 & H_6 \\ & & Cl \end{matrix} \right\}$ 0,9521	0,9214 (0°) Pierre ¹⁾

1) Nach andern Bestimmungen wäre die Eigenschwere von Chloräethyl kleiner als die von Chlorämyl, was jedoch nicht möglich seyn kann.

Chloramyl	$\left. \begin{matrix} C_{10} H_{11} \\ Cl \end{matrix} \right\}$	0,8920	0,8859 (0°) Kopp; 0,8958 (0°) Pierre
Aethylchlorür	$\left. \begin{matrix} C_4 H_5 O_2 \\ Cl \end{matrix} \right\}$	1,1636	1,1415 (0°) Gerhardt; 1,1305 (0°) Kopp
Benzoylchlorür	$\left. \begin{matrix} C_{14} H_5 O_2 \\ Cl \end{matrix} \right\}$	1,2300	1,2324 (0°) Kopp
Cumylchlorür	$\left. \begin{matrix} C_{20} H_{11} O_2 \\ Cl \end{matrix} \right\}$	1,1111	1,070 (15°) Cahours
Cinnamylchlorür	$\left. \begin{matrix} C_{18} H_7 O_2 \\ Cl \end{matrix} \right\}$	1,2476	1,207 Cahours
Chlormethylchlorür	$\left. \begin{matrix} C_2 H_3 Cl \\ Cl \end{matrix} \right\}$	1,3433	1,3424 (18°) Regnault
Bichlormethylchlorür	$\left. \begin{matrix} C_2 H Cl_2 \\ Cl \end{matrix} \right\}$	1,5377	1,5098 ... 1,5263 (0°)
Trichlormethylchlorür	$\left. \begin{matrix} C_2 Cl_3 \\ Cl \end{matrix} \right\}$	1,6614	1,6298 0°) Pierre; 1,5890 (0°) Riche
Chloraethylchlorür	$\left. \begin{matrix} C_4 H_4 Cl \\ Cl \end{matrix} \right\}$	1,2436	1,2407 (0°) Pierre; 1,1987 (0°) Regnault
Bichloraethylchlorür	$\left. \begin{matrix} C_4 H_3 Cl_2 \\ Cl \end{matrix} \right\}$	1,4279	1,3979 (0°) Regnault; 1,3465 (0°) Pierre
Trichloraethylchlorür	$\left. \begin{matrix} C_4 H_2 Cl_3 \\ Cl \end{matrix} \right\}$	1,5536	1,530 (18°) Regnault

	Berechnet für 0° Temp.	Beobachtet
Vinylchlorür-Chlor- wasserstoff	$C_4 H_3 Cl_3 \left. \begin{matrix} \} \\ H \end{matrix} \right\}$	1,2725 1,2725 (0°) Regnault; 1,2803 (0°) Pierre
Chlorvinylchlorür-Chlor- wasserstoff	$C_4 H_3 Cl_3 \left. \begin{matrix} \} \\ H \end{matrix} \right\}$	1,4535 1,4164 (0°) Regnault; 1,4223 (0°) Pierre
Bichlorvinylchlorür-Chlor- wasserstoff	$C_2 H Cl_4 \left. \begin{matrix} \} \\ H \end{matrix} \right\}$	1,6000 1,6020 (0°) Regnault; 1,6116 (0°) Pierre
Trichlorvinylchlorür-Chlor- wasserstoff	$C_4 Cl_5 \left. \begin{matrix} \} \\ H \end{matrix} \right\}$	1,6652 1,6627 (0°) Pierre
Butylenchlorür	$C_4 H_7 Cl_3 \left. \begin{matrix} \} \\ H \end{matrix} \right\}$	1,1448 1,1308 (0°) Kolbe; 1,0953 (0°) Kopp
Trichloraldehyd	$C_4 Cl_3 O_2 \left. \begin{matrix} \} \\ H \end{matrix} \right\}$	1,5695 1,5183 (0°) Kopp; 1,5254 (0°) Liebig

Außer der Eigenschwere angeführter Verbindungen ist auch die Eigenschwere der Aetherarten vielbasiger Säuren, sowie die der Cyanverbindungen theoretisch berechnet worden. In den ersten scheint, wie man es im Gegensatz zu einbasigen Säuren und ihren Aetherarten nicht erwarten dürfte, der ganze Sauerstoff mit der abstofsenden Kraft 0,858 enthalten zu seyn. Was das Cyan anlangt, so scheint seine abstofsende Kraft gleich 3,350 und folglich viel größer als $2qC + \frac{1}{2}qN$ zu seyn. Dieses Verhältniß stimmt ganz mit dem überein, was H. Kopp in Hinsicht des Volums dargelegt hat, womit das Cyan in seinen Verbindungen bei deren Kochpunkt enthalten ist; es ist nämlich ebenfalls größer als $2vC + vN$. Mit Berücksichtigung dieser Umstände erhält man:

Oralsaur. Aethyl	$C_{12} H_{10} O_8$	1,1245	1,1016 (6°) Kopp
Bernsteinsaur. Methyl	$C_{12} H_{10} O_8$	1,1245	1,179 (20°) Fehling
„ Aethyl	$C_{16} H_{14} O_8$	1,0638	1,0718 (0°) Kopp
Adipinsaur. Aethyl	$C_{20} H_{18} O_8$	1,0226	1,001 (20° 5) Malaguti
Korksaur. Methyl	$C_{20} H_{18} O_8$	1,0226	1,014 (18°) Laurent
„ Aethyl	$C_{24} H_{22} O_8$	0,9930	1,003 (18°) Laurent
Kampfersaur. Aethyl	$C_{26} H_{24} O_8$	1,0008	1,029 (16°) Malaguti
Aconitsaur. Aethyl	$C_{24} H_{18} O_{12}$	1,1166	1,074 (14°)
Cyanmethyl	$\left. \begin{matrix} C_2 N \\ C_4 H_5 \end{matrix} \right\}$	0,8007	0,8347 (0°) Kopp
Cyanaethyl	$\left. \begin{matrix} C_2 N \\ C_2 H_8 \end{matrix} \right\}$	0,8029	0,784 (15°) Pelouze
Cyanbutyl	$\left. \begin{matrix} C_2 N \\ C_8 H_9 \end{matrix} \right\}$	0,8050	0,81
Cyanamyl	$\left. \begin{matrix} C_2 N \\ C_{10} H_{11} \end{matrix} \right\}$	0,8056	0,806 (20°)
Cyanphenyl	$\left. \begin{matrix} C_2 N \\ C_{12} H_9 \end{matrix} \right\}$	1,0718	1,0230 (0°) Kopp
Cyansaur. Aethyl	$\left. \begin{matrix} C_2 N O_2 \\ C_4 H_5 \end{matrix} \right\}$	0,9236	0,8981 Wurtz

Poggendorff's Annal. Bd. CII.

28

	Berechnet für 0° Temp.	Beobachtet
Schwefelcyanmethyl	$\left. \begin{matrix} C_2 & N & S_2 \\ & C_2 & H_3 \end{matrix} \right\}$ 1,1077	1,1317 (0°) Cahours; 1,0879 (0°) Pierre
Schwefelcyanaethyl	$\left. \begin{matrix} C_2 & N & S_2 \\ & C_4 & H_5 \end{matrix} \right\}$ 1,0508	1,020 (16°) Cahours
Schwefelcyanallyl	$\left. \begin{matrix} C_3 & N & S_2 \\ & C_6 & H_5 \end{matrix} \right\}$ 1,0987	1,0225 ... 1,0352 (0°).

Mit sehr wenigen Ausnahmen stimmt die berechnete Eigenschwere der meisten hier angeführten Verbindungen ziemlich gut mit der direct beobachteten überein. Nimmt man nämlich die Cyanverbindungen und die Aetherarten vielbasiger Säuren nicht in Betracht, so ist der Unterschied zwischen der beobachteten und berechneten Dichtigkeit ungefähr bei 58 Stoffen ¹⁾ unter 1 Proc., bei 33 zwischen 1 und 2 Proc., bei 6 zwischen 2 und 3 Proc., bei 2 zwischen 3 und 4 Proc. und endlich bei Butyl, Butyron, Bromoform und Amylbromur über 4 Proc. der ganzen Dichtigkeit. H. Kopp, der sich mehr als sonst ein Naturforscher mit der Bestimmung der Eigenschwere flüssiger organischer Verbindungen beschäftigt hat, betrachtet eine Uebereinstimmung von 4 Proc. zwischen berechnetem und beobachtetem Volum, oder, was dasselbe ist, zwischen berechneter und beobachteter Dichtigkeit.

1) Bei dieser Vergleichung ist natürlich die bei höherer Temperatur beobachtete Eigenschwere auf 0° reducirt worden. Wenn man die Eigenschwere bei 0° Temperatur mit s' bezeichnet, so hat man bei den meisten flüssigen Verbindungen:

$$s' = s(1 - 0,0008 t) \dots s(1 - 0,0015 t).$$

keit als ziemlich genügend. Wenn man daher die vier letztgenannten Stoffe, bei denen der Unterschied diese Zahl übersteigt, als eine Ausnahme ansieht, die entweder von mangelhafter Beobachtung (z. B. deutlich bei Bromoform) oder von falsch angenommener theoretischer Zusammensetzung herrührt, so könnte man, da von den übrigen der Unterschied nur bei sehr wenigen 2 Proc. übersteigt, fast sagen, daß ihre berechnete Eigenschwere vollkommen mit der beobachteten übereinstimmt. Daß gar keine Ausnahmen vorkommen sollten, hätte man auch nicht erwartet. Bevor z. B. Kopp's neuere Untersuchungen für das buttersaure Methyl den Werth berichtigten, den Pierre für seine Dichtigkeit erhielt, oder bevor die neuere Ansicht in Betreff der Methyl-Salicylsäure und ihrer Zusammensetzung festgestellt war, hätte die berechnete Eigenschwere dieser beiden Verbindungen mit der beobachteten nicht übereinstimmen können, was jetzt in völlig genügender Weise geschehen ist.

In einer Reihe von Abhandlungen hat H. Kopp gezeigt, daß, wenn man das Volum der Flüssigkeiten vergleicht, und zwar bei Temperaturen, welche einer gleich großen Spannkraft bei ihren Gasen entsprechen, das Volum eines Molecüls gleich ist der Summe der Volume seiner Theile. Im Fall beide Berechnungsarten, d. h. Kopp's für eine variable, und die hier angeführte für eine constante Temperatur, richtig wären, würde ein Vergleich derselben zu sehr bemerkenswerthen Schlüssen in Hinsicht auf das Verhältniß zwischen der Spannkraft der Gase und deren Volume bei ungleichen Temperaturen leiten.

So wie die ganze abstossende Kraft eines zusammengesetzten Molecüls bei einer Temperatur von 0° gleich ist der Summe der abstossenden Kräfte seiner Theile bei denselben Temperaturen, so muß auch die ganze abstossende Kraft eines zusammengesetzten Molecüls bei beliebiger Temperatur gleich seyn der Summe der abstossenden Kräfte seiner Theile bei derselben Temperatur. Nimmt man folglich an, daß die abstossende Kraft des Wasser-

stoffs und Kohlenstoffs durch folgende Gleichung ausgedrückt wird:

$$qH = h + h't + h''t^2 + \dots$$

$$qC = c + c't + c''t^2 + \dots$$

so müßte die abstossende Kraft bei einem Körper $H_n C_m$ seyn:

$$qH_n C_m = nqH + mqC = (nh + mc) + t(nh' + mc') + t^2(nh'' + mc'') + \dots$$

Auf ähnliche Weise müßte man daher theoretisch die Ausdehnung eines zusammengesetzten Körpers durch Wärme bestimmen können. Natürlich muß aber hier wie vorhin der Unterschied bachtet werden, ob das Molecül dem Radicale oder dem Typus angehört.

V. Ueber die Verbindungen des salpetersauren Natrons mit dem salpetersauren Silberoxyd; von Heinrich Rose.

Es ist schon seit längerer Zeit bekannt, daß mehrere Natronsalze dieselbe Form mit den entsprechenden Silberoxydsalzen theilen. Heeren zeigte zuerst, daß das unterschwefelsaure Natron mit zwei Atomen Wasser mit dem ihm analog zusammengesetzten unterschwefelsauren Silberoxyd eine gleiche Krystallform hat ¹⁾ und Mitscherlich fand darauf, daß dasselbe beim wasserfreien schwefelsauren Natron und schwefelsauren Silberoxyde, so wie beim selensauren Natron und selensauren Silberoxyd statt finde²⁾.

Sehr auffallend ist es nun, daß das salpetersaure Natron nicht mit dem salpetersauren Silberoxyd isomorph ist,

1) Pogg. Ann. Bd. 7, S. 200.

2) Pogg. Ann. Bd. 12, S. 133.

obgleich beide Salze im wasserfreien Zustand bekanntlich in sehr deutlichen Krystallen dargestellt werden können. Aber die rhomboëdrische Form des salpetersauren Natrons kann nicht mit der zweigliedrigen des salpetersauren Silberoxyds in Uebereinstimmung gebracht werden.

Man kann indessen das salpetersaure Silberoxyd zwingen, die Form des salpetersauren Natrons anzunehmen, wenn man beide Salze gemeinschaftlich krystallisiren läßt.

Es wurde ein Atomgewicht vom salpetersauren Natron mit zwei Atomgewichten vom salpetersauren Silberoxyd bei sehr gelinder Hitze zusammengeschmolzt. Die Lösung der zusammengeschmolzenen Masse wurde der langsamen Krystallisation über concentrirter Schwefelsäure unterworfen.

Der erste Anschufs der Krystalle bestand aus den Tafeln des zwei- und zweigliedrigen Systems, in denen das salpetersaure Silberoxyd für sich krystallisirt. Sie bestanden auch nur aus diesem Salze und enthielten nur eine Spur vom salpetersauren Natron. Die Zusammensetzung der Krystalle war nämlich:

Salpetersaures Silberoxyd	99,56
Salpetersaures Natron	0,53
	<hr/> 100,09.

Die Krystalle des zweiten Anschusses hatten auch noch die Form des salpetersauren Silberoxyds, aber mit merkwürdigen hemiëdrischen Flächen, die man sonst nicht an diesem Salze beobachtet hat. Sie zeigten folgende Zusammensetzung:

Salpetersaures Silberoxyd	98,49
Salpetersaures Natron	1,51
	<hr/> 100,00.

Der dritte Anschufs endlich bestand aus rhomboëdrischen Krystallen, welche vollkommen in allen Stücken die des salpetersauren Natrons waren. Zur Analyse wurden nur Krystalle angewandt, von denen man sich genau überzeugt hatte, dafs sie die bekannte sechsgliedrig rhom-

boëdrische Form des salpetersauren Natrons hatten. Sie bestanden aus:

Salpetersaurem Silberoxyd	50,81
Salpetersaurem Natron	49,56
	<u>100,37.</u>

Es ist dies $\text{Ag}\ddot{\text{N}} + 2\text{Na}\ddot{\text{N}}^1)$.

Außer den rhomboëdrischen Krystallen hatte sich eine große Menge des Doppelsalzes als Efflorescenz ausgeschieden. Die Lösung dieses efflorescirten Salzes wurde mit einer neuen Menge einer Lösung von salpetersaurem Natron vermischt und wiederum über Schwefelsäure zur Krystallisation hingestellt. Es bildeten sich wiederum vollkommen ausgebildete Rhomboëder von der Form des reinen salpetersauren Natrons. Die Zusammensetzung derselben war folgende:

Salpetersaures Silberoxyd	38,517
Salpetersaures Natron	61,483
	<u>100,000.</u>

Durch ferneres Abdampfen wurden wiederum ganz ähnliche Rhomboëder von folgender Zusammensetzung erhalten:

Salpetersaures Silberoxyd	32,02
Salpetersaures Natron	67,98
	<u>100,00.</u>

In beiden untersuchten Salzen stehen die näheren Bestandtheile in keinem so einfachen bestimmten Verhältnisse wie in dem vorher untersuchten. In der ersteren Salzmenge ist 1 Atom des salpetersauren Silberoxyds mit 3,18 Atom, in dem zweiten mit 4,2 Atom des salpetersauren Natrons verbunden.

Nach diesen Untersuchungen blieb es also unentschieden, ob die beiden einfachen Salze in dem untersuchten Doppelsalze in allen Verhältnissen sich mit einander verbinden können, oder ob die untersuchten Rhomboëder

1) Das Atomgewicht des salpetersauren Natrons ist fast ganz genau die Hälfte von dem des salpetersauren Silberoxyds.

Gemenge von Verbindungen waren, in welchen die näheren Bestandtheile nach einfachen Verhältnissen enthalten sind.

Um dies zu entscheiden, wurde ein einzelnes vollkommen ausgebildetes Rhomboëder des letzten Anschusses der Untersuchung unterworfen. Es war freilich nicht von bedeutender Gröfse und wog nur 0,181 Grm. Die Analyse konnte aber dennoch ein ziemlich genaues Resultat geben, da bekanntlich die Silberbestimmung selbst bei kleinen Quantitäten mit Sicherheit geschehen kann. Das Resultat der Untersuchung war folgendes:

Salpetersaures Silberoxyd	34,81
Salpetersaures Natron	65,19
	<hr/> 100,00.

Das atomistische Verhältniß zwischen den beiden Salzen ist kein einfaches. Ein Atom des salpetersauren Silberoxyds ist nach dieser Untersuchung mit 3,74 At. des salpetersauren Natrons verbunden.

Es scheint hieraus hervorzugehen, daß beide Salze in allen Verhältnissen sich mit einander verbinden können. Es ist dies ein Beispiel von eigentlicher Isomorphie.

Das salpetersaure Natron kann aber nur dann dem salpetersauren Silberoxyd die rhomboëdrische Form mittheilen, wenn es im Uebermaafs in der Lösung beider Salze vorhanden ist. Herrscht das salpetersaure Silberoxyd vor, so kann dieses das salpetersaure Natron nicht zwingen, die Form desselben anzunehmen; es krystallisirt in diesem Falle durch sehr allmähliges Abdampfen das salpetersaure Silberoxyd allein aus der Lösung mit der ihm eigenthümlichen Form.

- 1) Die auffallende Thatsache, daß die kohlensaure Kalkerde eine gleiche Krystallgestalt mit dem salpetersauren Natron (und also auch mit dem salpetersauren Silberoxyd) theilt, kann vielleicht, wie dies Graf Schafgotsch schon vor längerer Zeit gezeigt hat (Pogg. Ann. Bd. 48, S. 335) mit folgendem Umstande zusammenhängen. Wenn man, wie dies auch durch viele Gründe so höchst wahrscheinlich wird, in dem Natron

Das salpetersaure Silberoxyd verhält sich nach diesen Versuchen dem schwefelsauren und dem chromsauren Natron ähnlich, welche, wie ich vor längerer Zeit zeigte, im wasserfreien Zustande in der Form des schwefelsauren Kali's krystallisiren können, wenn sie mit schwefelsaurem oder chromsaurem Kali gemeinschaftlich aus einer Lösung krystallisiren ¹⁾. Aber es geschieht dies nur dann, wenn das schwefelsaure und das chromsaure Kali im Ueberschuß vorhanden ist, eben so wie salpetersaures Natron gegen salpetersaures Silberoxyd im Ueberschuß vorhanden seyn muß, wenn letzteres die Form des ersteren annehmen soll.

(und dem Silberoxyd) 2 Atome des Metalls, in der Kalkerde aber nur 1 Atom annimmt, so enthalten 2 Atome der kohlensauren Kalkerde eben so viele Atome einfacher Stoffe wie 1 At. des salpetersauren Natrons (oder Silberoxyds). In beiden Salzen in $2\text{Ca}\overset{\cdot\cdot}{\underset{\cdot\cdot}{\text{C}}}$ und in $\text{Na}\overset{\cdot\cdot}{\underset{\cdot\cdot}{\text{N}}}$ sind 2 At. Metall, 2 At. eines Metalloids (Kohle oder Stickstoff) und 6 Atome Sauerstoff enthalten. Eine solche Vergleichung ist indessen noch keine geügende Erklärung der auffallenden Isomorphie beider Salze.

1) Pogg. Ann. Bd. 52, S. 455 und 587.

VI. Ueber das phosphorsaure Natron-Lithion; von C. Rammelsberg.

Vor zwölf Jahren beschrieb ich eine Reihe von Versuchen über das phosphorsaure Natron-Lithion ¹⁾ und kam zu dem Resultat, es sey eine isomorphe Mischung der Drittel-Phosphate beider Basen, $(\text{Li}, \text{Na})^{\frac{1}{3}} \ddot{\text{P}}$, in welcher das Verhältniß dieser letzteren ein sehr schwankendes sey, so daß das Salz zur Bestimmung des Lithions sich nicht eigene. Zugleich schlug ich vor, die Chlorüre von Natrium und Lithium durch eine Mischung aus Aether und Alkohol zu trennen.

In einem neuerlich erschienen Aufsatz ²⁾ sucht Mayer zu beweisen, daß das phosphorsaure Natron-Lithion überhaupt nicht existire, und daß unter den zu seiner Darstellung angegebenen Umständen immer nur drittelphosphorsaures Lithion, $\text{Li}^{\frac{1}{3}} \ddot{\text{P}}$, erhalten werde.

Es ist keine angenehme Aufgabe, die Wahrheit der Thatsachen gegen unreife und leichtfertige Räsonnements zu vertheidigen. Mayer erklärt das phosphorsaure Natron-Lithion für nicht vorhanden, weil er bei seinen Versuchen dasselbe nicht erhielt. Dergleichen begegnet Anfängern nicht selten, weil es ihnen an der erforderlichen Umsicht fehlt.

Bei sechs verschiedenen Darstellungen fand ich 8 bis 28 Proc. Natron in dem Salze, von denen Mayer glaubt, daß sie wegen mangelhaften Auswaschens (als Carbonat oder Phosphat) zurückgeblieben waren. Sehr kleine Mengen Kohlensäure waren oft wahrzunehmen, ich liefs sie jedoch unberücksichtigt, da man nicht entscheiden kann, ob sie an Lithion oder Natron gebunden sind. Indem damals zur Bestimmung der Phosphorsäure fast nur die Fällung durch Chlorcalcium anwendbar erschien, fielen die Resul-

1) Diese Annalen Bd. 66, S. 86.

2) Ann. der Chem. u. Pharm. Bd. 98. S. 193.

tate nicht immer scharf aus, die Summe der Bestandtheile ergab oft einen Ueberschufs. Deswegen, und um die Angaben von Mayer zu prüfen, habe ich den Gegenstand von neuem untersucht.

Wird eine Auflösung von leichtlöslichem *einfach* phosphorsaurem Lithion mit kohlensaurem Natron kalt vermischt, so entsteht ein krystallinischer Niederschlag, während die Flüssigkeit phosphorsaures Natron enthält. Eine Probe dieses Niederschlages, nicht vollständig ausgewaschen, gab:

		Sauerstoff
Kohlensäure	0,78	0,57
Phosphorsäure	61,37	34,40
Lithion	32,52	17,90
Natron	1,48	0,37
Wasser	3,85	3,42
	<hr/> 100.	

Das Lithion wurde aus der Differenz bestimmt. Zieht man die kleine Menge Kohlensäure als Lithioncarbonat, das Natron als $\text{Na}^2\ddot{\text{P}}$ ab, so verhält sich in dem Lithionphosphat der Sauerstoff von Basis, Säure und Wasser gleich 2,6 : 5 : 0,5, was entweder $(2\text{Li}^2\ddot{\text{P}} + 3\text{Li}^3\ddot{\text{P}}) + 2\frac{1}{2}\text{aq}$, oder $(\text{Li}^2\ddot{\text{P}} + \text{Li}^3\ddot{\text{P}}) + \text{aq}$ ist. Im letzteren Fall wäre dies ein anderes Hydrat des von mir früher beschriebenen Doppelsalzes beider Phosphate¹⁾.

Die Darstellung des phosphorsauren Natron-Lithions erfolgte aus Chlorlithium, phosphorsaurem und etwas kohlensaurem Natron, und wurde das Ganze, wie Berzelius schon vorschrieb, und auch bei meinen älteren Versuchen geschah, zur *vollständigen Trockne eingedampft*, worauf die Masse mit kaltem Wasser so lange ausgewaschen wurde, bis das Waschwasser nur noch wenig auf Phosphorsäure reagierte. Zwei zu verschiedenen Zeiten dargestellte Proben enthielten, nachdem sie über Schwefelsäure einige Zeit getrocknet worden:

1) Siehe meine Abhandlung über die Verbindungen der Phosphorsäure mit dem Lithion in diesen Annalen Bd. 76, S. 261.

	1	Sauerstoff	2	Sauerstoff
Kohlensäure	1,08	0,80	1,37	0,99
Phosphorsäure	54,39	30,49	55,72	31,23
Lithion	23,25	12,80	26,89	14,80
Natron	20,36	5,22	14,89	3,82
Wasser	2,00		1,64	
	<u>101,08</u>		<u>100,51</u>	

Zieht man die Hälfte des Sauerstoffs der Kohlensäure vom Sauerstoff der Basen ab, so verhält sich in dem Phosphat der Sauerstoff der Phosphorsäure zu dem der Basen in:

$$1 = 30,49 : 17,62 = 5 : 2,9$$

$$2 = 31,23 : 18,12 = 5 : 2,9$$

$$\text{oder} = 5 : 3.$$

Beide Proben waren mithin $(\text{Li}, \text{Na})^3 \ddot{\text{P}}$, und zwar $1 = 3 \text{Na}^3 \ddot{\text{P}} + 7 \text{Li}^3 \ddot{\text{P}}$; $2 = \text{Na}^3 \ddot{\text{P}} + 4 \text{Li}^3 \ddot{\text{P}}$. Ich halte es für wahrscheinlich, daß in ihnen eine feste isomorphe Mischung, welche sich größtentheils erst beim Eindampfen der Flüssigkeit bildet, mit variablen Mengen drittelphosphorsauren Lithions gemengt ist, wofür der geringe Wassergehalt spricht. Vielleicht ist jene gleich $\text{Na}^3 \ddot{\text{P}} + \text{Li}^3 \ddot{\text{P}}$.

Zur Analyse dieser Niederschläge diente folgende Methode: Die Substanz wurde im Geißler'schen Apparate durch Salpetersäure zersetzt, um die Kohlensäure zu bestimmen. Die Auflösung wurde mit Ammoniak neutralisirt, ein wenig Salmiak hinzugefügt und mit essigsaurem Bleioxyd gefällt, der Niederschlag mit Schwefelsäure und Alkohol digerirt, und die Phosphorsäure durch Magnesialösung gefällt. Das Filtrat vom phosphorsauren Bleioxyd wurde mit überschüssiger Schwefelsäure abgedampft, der Rückstand mit Wasser behandelt, und Natron und Lithion als neutrale Sulfate gewägt. Mittelst Chlorbaryum zerlegt, wobei die Bestimmung der Schwefelsäure sogleich über das Vorhandenseyn des Natrons entscheidet¹⁾, und nach

- 1) Schwefelsaures Lithion enthält 73,38 Proc. Säure; das schwefelsaure Salz des oben erwähnten Niederschlages gab 73,23 Proc., die Sulfate aus dem phosphorsauren Natron-Lithion in 2 gaben 68,58 Proc. Säure.

Beseitigung des Barytüberschusses durch kohlensaures Ammoniak, wurden dieselben in Chlortüre verwandelt, mit etwas Salmiak schwach geglüht, und mit Aether-Alkohol ausgezogen. Es bedarf kaum der Erwähnung, daß das, was letzterer ungelöst liefs, durch besondere Prüfung als reines Chlornatrium, frei von Lithion, Phosphorsäure und Kohlensäure, erkannt wurde. Die Einwürfe Mayers gegen diese Trennungsweise beider Alkalien sind ebenso unbegründet, als seine Methode, die Phosphate des Lithions durch Barytwasser zu zerlegen, sich brauchbar erweist. Man behält dann stets Phosphorsäure in der Flüssigkeit.

VII. *Analyse des Zirkons aus Buncombe County, North Carolina; von Dr. Charles F. Chandler.*

Das Material für diese Untersuchung verdanke ich Hrn. H. Rose, welchem es von Hrn. Shepard zugesandt worden war. Es bestand aus einer Menge mehr oder weniger zerbrochener und vollkommen von Gangart freier Krystalle, von blafs chocoladenbrauner Farbe, welche Combinationen eines Quadratocctaëders mit dem ersten quadratischen Prisma darstellen. Die meisten dieser Krystalle waren parallel mit dem quadratischen Prisma gespalten, so daß sie ein vollkommenes Ende zeigten. Die Octaëderflächen waren glatt und sehr glänzend mit diamantartigem Glanze, während die des Prisma uneben und weniger glänzend waren. Die Krystalle waren rissig, leicht zerbrechlich, und nur schwach an den Kanten durchscheinend. Der frische Bruch zeigte oft rothe Stellen, welche ihnen das Ansehen eines zersetzten Minerals gaben. Das specifische Gewicht war bei verschiedenen Krystallen sehr verschieden von 4,543 bis 4,607. Diefs rührt ohne Zweifel von

den vielen Rissen her, die zersetztes Mineral oder Luft, welche durch kochendes Wasser nicht auszutreiben war, einschlossen.

In einem Artikel über Zirkon macht Henneberg ¹⁾ auf eine Phosphorescenz dieses Minerals aufmerksam. Er sagt, dieselbe erscheine bei einer Temperatur, die noch nicht hinreicht einen Platintiegel zur Rothgluth zu bringen. Die Erscheinung beginne an der heißesten Stelle, verbreite sich plötzlich durch die ganze Masse und verschwinde sogleich. Einige zeigten ein eigenthümlich starkes Leuchten und verloren ihre Farbe, während andere weit schwächer leuchteten und ihre Farbe behielten; diese könnte ihnen jedoch durch das Löthrohr genommen werden. Nach dem Glühen sey das specifische Gewicht von 4,615 auf 4,71 gestiegen. Krystalle, welche einmal die Phosphorescenz gezeigt, brächten dieselbe nicht wieder hervor. Wegen des Steigens des specifischen Gewichtes, des Verlustes der Eigenschaft zu phosphoresciren und des Verschwindens der Farbe hält Henneberg diese Phosphorescenz für eine von den sonst bekannten verschiedene und für eine mit der Feuererscheinung des Zirkonerdehydrates vielleicht zusammenhängende.

Mit den für diese Untersuchung benutzten Zirkonen war ich jedoch nicht im Stande, trotz der sorgfältigsten Erhitzung in einem dunklen Raume und bei öfterer Wiederholung des Versuches, irgend eine Phosphorescenz hervorzubringen. Aber sehr vollkommen erschien sie beim Erhitzen von Zirkonen von Norwegen, Expailly und zwei unbekannten Fundorten. Die Erscheinung ist jedoch nicht schnell vorübergehend, denn einige Krystalle leuchteten bei vorsichtiger Erhitzung länger als eine Minute. Auch verläuft dieselbe bei einer Temperatur, bei welcher die Farbe des Minerals durchaus nicht afficirt wird; erst nach dem Verschwinden der Phosphorescenz, wenn man die Hitze bedeutend erhöht, werden die Krystalle glühend und verlieren ihre Farbe. Durch vorsichtiges Erhitzen in einer

1) Journal für practische Chemie Bd. XXXVIII, S. 508.

Glasröhre und rasches Fortnehmen aus der Flamme, sowie die Phosphorescenz erscheint, welche dann einige Sekunden fort dauert, läßt sich dieser Versuch drei oder vier Mal wiederholen. Da also bei dieser Phosphorescenz weder ein Verlust der Farbe noch ein Verschwinden der Eigenschaft zu phosphoresciren vorhanden ist, so kann dieselbe wohl nicht als eine mit der Feuererscheinung des Zirkonerdehydrates zusammenhängende angesehen werden, sondern sie ist ähnlich der Fluorescenz des Flußspathes. Die Feuererscheinung des Zirkonerdehydrates entsteht durch einen Uebergang in einen anderen Zustand, indem dabei latente Wärme frei wird.

Zur Analyse wurden vier Krystalle angewandt. Sie hatten einen sehr constanten Glühverlust. Derselbe bestand aus Wasser, welches auf Lackmuspapier keine Reaction hervorbrachte. Nach dem Glühen hatten sie ein anderes specifisches Gewicht.

absol. Gew.	spec. Gew.	Glühverlust	spec. Gew. nach d. Glühen	Verdichtung in 10000
2,013 Grm.	4,555	0,397	4,572	9749
1,000 "	4,578	0,309	4,661	9821
0,918 "	4,594	0,381	4,631	9723
0,734 "	4,607	0,449	4,650	9907

Die von Henneberg gefundene Verdichtung ist 9768.

Durch das sehr starke bis zur Weißgluth gesteigerte Glühen, waren die Krystalle dunkel rothbraun, im Bruche noch dunkler geworden; farblos wurden sie bei schwacher Rothgluth. Der Glühverlust war jedoch schon vollständig bei Rothgluth.

Von dem fein gepulverten Minerale wurden 2,824 Grm. mit 10 Theilen eines Gemisches aus gleichen Aequivalenten kohlensauren Kalis und Natrons eine Stunde hindurch geschmolzen. Diese große Menge Alkali war genommen, um zu sehen, ob es die Natur des zeolithartigen Pulvers, welches man immer beim Auflösen der geschmolzenen Masse von Zirkonen und Alkali in Wasser erhält, verändere.

Die geschmolzene Masse wurde in Wasser aufgeweicht

und das unlösliche Pulver durch Filtration getrennt. Aus dem Filtrate wurden auf gewöhnlichem Wege 0,753 Grm. Kieselsäure erhalten. Das unlösliche Pulver wurde mit Salzsäure digerirt, wodurch es gelatinirte. Nachdem die überschüssige Säure fortgetrieben war, wurde die trockne Masse mit Salzsäure befeuchtet, mit heissem Wasser behandelt und filtrirt. Aus dem Filtrate wurden 1,66 Grm. Zirkonerde (mit Eisenoxyd) durch Ammoniak gefällt. Der gallertartige Rückstand, geglüht 0,401 Grm., wurde mit Fluorwasserstoffsäure behandelt, mit Schwefelsäure zur Trockne bei gelinder Wärme eingedampft, mit Salzsäure befeuchtet und mit kaltem Wasser ausgezogen. Dies wurde einige Male wiederholt. Schliesslich blieb ein kleiner Rest 0,013 Grm. unzersetzten Minerals, welcher wiederum mit kohlensaurem Alkali geschmolzen etc., 0,003 Kieselsäure und 0,01 Zirkonerde ergab. Aus den erhaltenen Lösungen wurden 0,22 Grm. Zirkonerde durch Ammoniak gefällt. Der gelatinöse Rückstand bestand demnach aus:

Zirkonerde mit Eisenoxyd 0,23 Grm.

Kieselsäure 0,171 „

Sämmtliche erhaltene Zirkonerde (mit dem Eisenoxyd) zusammen 1,89 Grm. wurde gemischt, geglüht und gepulvert. Alsdann wurde sie mit Schwefelsäure behandelt, die überschüssige Säure fortgetrieben, die trockene Masse mit Salzsäure befeuchtet und mit Wasser digerirt. Der Rückstand wurde wiederholt so behandelt. Es blieb jedoch ein unlöslicher Rest, aus welchem durch Fluorwasserstoffsäure 0,027 Grm. Kieselsäure fortgetrieben wurden. Die vereinigten Lösungen der Zirkonerde wurden mit einer hinreichenden Menge Weinsteinssäure versetzt, und das Eisen durch Schwefelammonium gefällt, welches als Oxyd bestimmt wurde. Die als Zirkonerde erhaltene Masse bestand demnach aus;

Zirkonerde 1,844 Grm.

Eisenoxyd 0,019 „

Kieselsäure 0,027 „

1,890.

Das zeolithartige Pulver enthielt also:

Zirkonerde	1,844 Grm.
Eisenoxyd	0,019 "
Kieselsäure	0,198 "

Dies giebt ein Verhältniß der Zirkonerde und des Eisenoxyds zur Kieselsäure von 9,3:1. Dr. Gibbs¹⁾ hat eine vollständige Analyse dieses Pulvers gegeben; er fand

Zirkonerde	51,13	Sauerstoff	13,50 = 2
Eisenoxyd	0,64		
Kieselsäure	24,76	"	12,85 = 2
Natron	23,47	"	6,02 = 1.

Hier war das Verhältniß 2,09:1. Eine gute Formel liefs sich nach dieser Analyse nicht aufstellen, da die Quantität des Natron zu groß ist. Dr. Gibbs giebt die Formel $\text{Na}^2\text{Si} + \text{NaZr} + \text{ZrSi}$, annehmend, daß Kieselsäure durch Zirkonerde ersetzt sey. Die krystallinische Beschaffenheit meines Pulvers und die Thatsache, daß es mit Salzsäure gelatinirte, sprechen für eine bestimmte Verbindung; aber nach dem Verhältnisse 9,3:1 muß mehr oder weniger freie Zirkonerde darin enthalten gewesen seyn. Der große Ueberschuß von Alkali, welcher in meiner Analyse angewandt wurde, muß theilweise zersetzend auf das zeolithartige Pulver eingewirkt haben; Dr. Gibbs wandte nur vier Theile Alkali bei Darstellung des Pulvers von obiger Analyse an:

Die Analyse der Zirkone ergab:

Zirkonerde	1,844 Grm.	65,30	Sauerstoff	17,19	} 17,39
Eisenoxyd	0,019 "	0,67	"	0,20	
Kieselsäure	0,911 "	33,70	"		17,49
Wasser	0,012 "	0,41			
	<u>2,826</u>	<u>100,08</u>			

Dies giebt die Formel ZrSi .

Das Wasser ist das Mittel von vier Bestimmungen.

Zur Vergleichung gebe ich noch eine Analyse von Dr. Gibbs¹⁾ von Zirkon aus Litchfield (Maine) und eine von

1) Diese Annalen Bd. LXXI, S. 559.

C. M. Wetherill¹⁾ von Zirkon aus der Nachbarschaft von Reading in Pennsylvanien.

Specifisches Gewicht	4,7	4,59
Zirkonerde	63,33	63,50
Eisenoxyd	0,79	2,02
Kieselsäure	35,20	34,07
Unzersetztes Mineral	0,36	Wasser 0,50
	99,74	100,09.

VIII. Ueber einige Zirkonerde- und Titansäure-Verbindungen; von C. M. Warren aus Amerika.

1. Ein neues schwefelsaures Zirkonerdesalz, etwas Kali enthaltend.

Man kennt schon vier Verbindungen von Zirkonerde mit Schwefelsäure, welche alle von Berzelius²⁾ entdeckt sind, nämlich das einfach, das doppelte, das dreifach und das sechsfach-basische Salz. Das letztere, das durch Fällung von Zirkonerdesalz mit schwefelsaurem Kali dargestellt wird, ist von Hermann³⁾ analysirt worden, und es enthält eine geringe Menge von schwefelsaurem Kali, welches, wie er sagt, nicht wesentlich zur Mischung dieses Salzes gehört. Obgleich die Quantität des Kalis so sehr gering ist, nämlich nur ungefähr 2 bis 3 Proc. beträgt, so betrachtete doch Berzelius⁴⁾ dieses als ein Doppelsalz.

Ich habe eine neue Untersuchung über die Zusammensetzung dieses Salzes angestellt, kam aber damit nicht zu Ende, weil ich hierbei noch ein anderes ähnliches Salz

1) *Silliman American Journ.* (2) *XF*, 443.

2) Berzelius, Jahresbericht, Jahrgang 5, S. 110.

3) *Journal für practische Chemie*, Bd. *XXXI*, S. 85.

4) Berzelius, *Lehrbuch der Chemie*.

Poggendorff's *Annal.* Bd. *CII*.

fand, und zwar ein vierfach-basisch-wasserhaltiges Salz, das aber auch etwas schwefelsaures Kali in gebundenem oder gemengtem Zustande enthielt. Behufs Bereitung des sechsfach-basischen Salzes habe ich, nach Berzelius, eine Lösung neutraler schwefelsaurer Zirkonerde durch eine gesättigte Lösung von schwefelsaurem Kali gefällt.

Nachdem ich sie stehen liefs bis der Niederschlag sich ganz gesenkt hatte, gofs ich die oben schwimmende Flüssigkeit so weit wie möglich ab, brachte den Niederschlag selbst auf ein Filter, und machte einen Versuch ihn mit kaltem Wasser zu waschen. Nun bemerkte ich, was man schon früher wufste, dafs der Niederschlag durch Wasser schnell verschwindet und sich löst. Deswegen fuhr ich mit Waschen fort um zu sehen, wie weit der Niederschlag aufgelöst werden könnte. Zuletzt blieb nur eine geringe Menge unauflöslichen weifsen Pulvers auf dem Filter. Aber in der sehr verdünnten Lösung des Niederschlags, welcher nur wenig überschüssiges schwefelsaures Kali enthielt, fing ein neuer krystallinischer Niederschlag an sich zu bilden, wovon in 2 bis 3 Tagen ziemlich viel entstand. Das Filtrat aus diesem Niederschlag enthielt nur wenig Zirkonerde. Der Niederschlag ward mit kaltem Wasser gewaschen, bei 100° C. getrocknet, gewogen, in heifser Chlorwasserstoffsäure aufgelöst, und die Zirkonerde mittelst Ammoniak gefällt.

Nach der auf gewöhnliche Weise geschehenen Bestimmung der Schwefelsäure in dem Filtrate der Zirkonerde bestimmte ich das Kali als schwefelsaures Kali.

Nach der Analyse bestand das Salz aus:

	Berechnet.	Gefunden.
$4\ddot{\text{Zr}}^2 = 364,56$	59,51	59,19
$\frac{1}{3}\text{K} = 15,71$	2,56	2,62
$3\frac{1}{3}\ddot{\text{S}} = 133,33$	21,76	21,65
$11\dot{\text{H}} = 99,00$	16,17	16,54
<u>612,60</u>	<u>100,00</u>	<u>100,00.</u>

Die Quantität des Wassers läfst sich aus dem Verluste

berechnen. Wenn man dieses Salz als ein wasserhaltiges vierfach-basisch, und nur mit dem schwefelsauren Kali gemengtes Salz betrachtet, so ist die Formel $4\ddot{\text{Zr}}^2 \cdot 3\ddot{\text{S}} + 11\ddot{\text{H}}$; im entgegengesetzten Falle aber auf die einfachste Weise $12\ddot{\text{Zr}}^2 \cdot 9\ddot{\text{S}} + \ddot{\text{K}}\ddot{\text{S}} + 33\ddot{\text{H}}$.

2. Schwefelsaures Zirkonerde-Kali.

Auf dieselbe Weise wie ich ¹⁾ ein Doppelsalz von schwefelsaurem und titansaurem Kali erhalten habe, eben so habe ich einen Versuch mit Zirkonerde angestellt, und dabei ein neues Doppelsalz (und wahrscheinlich zwei) aus der oben beschriebenen vierfach-basisch-schwefelsauren Zirkonerde mit saurem schwefelsaurem Kali entdeckt, welches viel mehr Kali als das Doppelsalz von Berzelius enthält. Man schmelzt gepülverte Zirkonerde mit ungefähr fünf Gewichtstheilen sauren schwefelsauren Kalis, und nach dem Erkalten setzt man einen Ueberschuß von Schwefelsäure hinzu, dampft bei niedriger Temperatur den Ueberschuß freier Schwefelsäure gröfstentheils ab, und behandelt nach gänzlichem Erkalten die Masse während ungefähr 24 Stunden mit ziemlich viel kaltem Wasser. In meinem Versuche löste das Wasser nur ungefähr zwei Drittel der Masse auf, und dann fing es wieder an einen Niederschlag zu bilden, aber als ein krystallinisches Salz. Was unaufgelöst blieb, war in zusammenhängenden Bruchstücken, so dafs ich das leichtere krystallinische Pulver sehr gut mit der Flüssigkeit davon abgiefsen konnte, und auf diese Weise trennte ich die Krystalle von den unaufgelösten Theilen.

Weil ich sehr viel Wasser angewandt hatte, dachte ich, dafs wahrscheinlich das freie saure schwefelsaure Kali völlig herausgezogen wäre, und vielleicht das Unaufgelöste noch eine andere Verbindung seyn könnte; deshalb habe ich auch dieses analysirt.

a. *Analyse des krystallinischen Salzes.* — Ich konnte dieses Salz nicht mit Wasser waschen, weil es dabei zer-

1) Siehe weiter unten.

setzt wird. Darum brachte ich es auf ein Filter und nachdem die Flüssigkeit filtrirt war, drückte ich es zwischen Fließpapier, was ich sehr oft wechselte, bis es ganz trocken zu seyn schien. Das auf diese Weise gereinigte, und bei 100° C. getrocknete Salz wog ich, löste es in heißer Chlorwasserstoffsäure auf, und analysirte es. Gemäß der Analyse scheint das Salz aus $4\ddot{\text{Zr}}_2 \cdot 3\ddot{\text{S}} + 2(\text{K} \cdot 2\ddot{\text{S}}) + 9\dot{\text{H}}$ zusammengesetzt.

	Berechnet.	Gefunden.
$4\ddot{\text{Zr}}_2 = 364,56$	44,47	45,53
$2\text{K} = 94,28$	11,49	10,43
$7\ddot{\text{S}} = 280,00$	34,16	33,86
$9\dot{\text{H}} = 81,00$	9,88	10,18
<u>819,84</u>	<u>100,00</u>	<u>100,00.</u>

Es zeigt sich ein Unterschied zwischen den berechneten und den gefundenen Resultaten, da es sehr schwer ist das Salz ganz rein und völlig unzersetzt zu erhalten.

b. Ich habe nachher gefunden, daß man dieses Salz unmittelbar durch Fällung einer verdünnten Lösung neutraler schwefelsaurer Zirkonerde mit saurem schwefelsaurem Kali erhalten kann. Folgendes sind die Resultate der Analyse eines auf diese Weise bereiteten Salzes:

	Berechnet.	Gefunden.
$4\ddot{\text{Zr}}_2 = 364,56$	44,47	43,50
$2\text{K} = 94,28$	11,49	11,83
$7\ddot{\text{S}} = 280,00$	34,16	35,65
$9\dot{\text{H}} = 81,00$	9,88	9,02
<u>819,84</u>	<u>100,00</u>	<u>100,00.</u>

Das Wasser in beiden Analysen läßt sich aus dem Verluste berechnen. Vielleicht könnte man die Zusammensetzung des Salzes durch Verdünnung der Lösung mit Wasser etwas ändern, weshalb dann auch in beiden Fällen wahrscheinlich nicht ganz dieselbe Verdünnung statt fand, weil ein kleiner Unterschied zwischen den Resultaten beider Analysen statt findet. In Bezug auf die Bildung des

sechsfach-basischen schwefelsauren Zirkonerde-Kalis bemerkt Berzelius ¹⁾, es werde »dadurch hervorgebracht, daß das Kalisalz sauer und das Zirkonerdesalz basisch wird.« Aber die Bildung der vierfach-basischen Doppelsalze, welche ich sogleich beschreiben werde, muß auf eine andere Weise geschehen, denn ich habe zur Darstellung derselben schon unmittelbar saures schwefelsaures Kali angewandt; es entsteht wahrscheinlich durch die Einwirkung des Wassers aus seiner Affinität für Schwefelsäure.

c. *Analyse der oben erwähnten unaufgelösten Theile der geschmolzenen Masse.* — Wie ich bemerkte, ist es wahrscheinlich, daß während 36 Stunden das Wasser das überschüssige saure schwefelsaure Kali völlig herausgezogen, und ein vielleicht ziemlich reines Salz zurückgelassen hatte. Diefs scheint auch aus der Analyse hervorzugehen. Es ward auf dieselbe Weise wie das letztere Salz gereinigt, getrocknet und analysirt. Es bestand aus:

	Beobachtet.	Gefunden.
$2\ddot{\text{Zr}}_2 = 182,28$	26,62	26,31
$3\ddot{\text{K}} = 141,42$	20,65	21,61
$7\ddot{\text{S}} = 280,00$	40,90	42,76
$9\dot{\text{H}} = 81,00$	11,83	9,32
<u>684,70</u>	<u>100,00</u>	<u>100,00.</u>

Die Analyse weist nach, daß das Salz etwas freies saures schwefelsaures Kali enthielt.

Das Salz kann entweder wie eine sechsfach-basische schwefelsaure Zirkonerde mit saurem schwefelsaurem Kali und Wasser verbunden, $2\ddot{\text{Zr}}_2 \cdot \ddot{\text{S}} + 3(\ddot{\text{K}} \cdot 2\ddot{\text{S}}) + 9\dot{\text{H}}$, oder wie $2\ddot{\text{Zr}}_2 \cdot 4\ddot{\text{S}} + 3(\ddot{\text{K}} \cdot \ddot{\text{S}}) + 9\dot{\text{H}}$ betrachtet werden.

3. Schwefelsaures Titansäure-Kali.

Wöhler ¹⁾ bemerkte, daß Titansäure sich in schmelzendem zweifach-schwefelsaurem Kali zu einem klaren Glase

1) Berzelius, Jahresbericht Jahrgang 5, III.

2) Gmelin's Handbuch der Chemie Bd. 11, S. 449.

auföst; Wasser macht das Glas milchweiss, und scheidet die meiste Titansäure ab.

Ich habe gefunden, daß wenn man eine solche erkaltete geschmolzene Masse mit concentrirter Schwefelsäure übergießt, und bei niedriger Temperatur den größten Theil der überschüssigen Schwefelsäure abdampft, man eine krystallinische Masse erhält, aus welcher, wenn man sie mit Wasser behandelt, das überschüssige saure schwefelsaure Kali ausgezogen wird und eine bedeutende Menge in Wasser und in Chlorwasserstoffsäure schwerlöslicher kleiner Krystalle zurückbleibt. Nach und nach wird das Salz mit vielem Wasser zersetzt; deshalb konnte ich es nicht mit Wasser waschen. Mit Fließpapier habe ich das Salz so weit wie möglich gereinigt, dann bei 100° C. getrocknet und analysirt. Ich habe mit diesem Salze drei Analysen angestellt, deren Durchschnittsresultat Folgendes ist:

	Berechnet.	Gefunden.
Ti = 41,17	19,77	20,46
K = 47,14	22,63	20,99
3S = 120,00	57,60	57,79
<u>208,31</u>	<u>100,00</u>	<u>99,24</u>

Dies ergibt beinahe die Formel $Ti, 2S + K, S$, aber es zeigt, daß wahrscheinlich das Salz durch das Wasser etwas zersetzt wird; und ich fand später auch, daß die Titansäure, welche ich zur Bereitung des Salzes gebrauchte, eine sehr geringe Menge Eisen enthielt, welche vielleicht die Titansäure etwas vermehrte. Es ist äußerst schwer dieses durch Wasser leicht zersetzbare Doppelsalz völlig rein zu bekommen, da man den Ueberschuß von Schwefelsäure und schwefelsaurem Kali nicht mit Wasser auswaschen kann. Aber die drei Analysen, deren Durchschnitts-Resultat das Obige ist, wurden mit drei verschiedenen Salzen angestellt; sie beweisen, daß das Resultat der angegebenen Darstellungsweise ein und dasselbe, und die obige Formel wahrscheinlich die richtige des Salzes ist.

XI. Ueber den Ankerit; von R. Luboldt.

Das Vorkommen des Ankerits findet sich in den meisten Lehrbüchern als auf Steiermark beschränkt angegeben. Es scheint mir jedoch, daß der Ankerit sich überall da finde, wo Eisenspath in mächtigen Lagern oder Gängen baubar auftritt, genetisch als ein demselben folgendes Erzeugniß.

In der angegebenen Weise tritt der Ankerit aufser an verschiedenen Orten in Steiermark bei Przbramm, bei Ems, bei Saarbrücken und bei Lobenstein in Reufs auf. Ich sah Exemplare von den genannten Fundorten in der ebenso wissenschaftlich als elegant ausgestatteten Mineraliensammlung des Hrn. R. Ferber in Gera, der die Güte hatte, mir ein Stück des Lobensteiner Vorkommniß mitzutheilen. Hr. Geheimrath Prof. Dr. Mitscherlich hatte die Gewogenheit, mir zu gestatten, in seinem Laboratorium die Analyse des Ankerits von Lobenstein anzustellen, deren Resultat ich in Folgendem mitzutheilen mir erlaube.

Der Ankerit findet sich bei Lobenstein auf den 1" bis 30' mächtigen Gängen des Eisenspaths (bestehend aus FeO , CO^2 87,90 Proc., MnO , CO^2 5,15 Proc., MgO , CO^2 5,85 Proc., CaO , CO^2 0,69 Proc.), welche Gänge in silurischem Thon- und Grauwackenschiefer oder Grünstein aufsetzen.

Die zu Drusen verbundenen Ankeritkrystalle zeigen auf der Unterfläche noch die Eindrücke des Eisenspaths. Sie sind von weißer Farbe mit einem Striche ins Graue, auf der Oberfläche häufig mit einem erbsengelben Ueberzuge verwitterten Ankerits bedeckt. Nicht selten sitzen auf dem Ankerite stumpfe Kalkspathrhomboëder. Die Flächen der Ankeritkrystalle sind meist gekrümmt und parallel den Kanten des Rhomboëder stark gestreift. Das spec. Gewicht wurde = 3,01 gefunden. Aus dem chemischen Verhalten des Ankerits scheint mir nur hervorhebenswerth, daß seine Löslichkeit in Chlorwasserstoffsäure zwischen der des Kalkspaths und jener des Dolomits mitten inne

steht; ferner, daß er, obgleich ganz wasserfrei, schon bei sehr gelindem Erhitzen mit Heftigkeit zerspringt und sich dabei in ein feines Pulver verwandelt. Schrötter hat das letzte Verhalten bereits als ein Erkennungsmittel für den Ankerit empfohlen. (Baumgartner's Zeitschrift Bd. VIII, S. 1 bis 7.) Die chemische Analyse unseres Ankerits ergab:

CaO, CO ²	51,61 Proc.	worin	22,71 CO ²	
FeO, CO ²	27,11	"	10,29	"
MgO, CO ²	18,94	"	9,90	"
MnO, CO ²	2,24	"	0,85	"
	<u>99,90</u>		<u>43,75</u>	

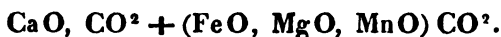
} 21,04

Die beobachtete Menge CO² betrug 43,81 Proc.

Die Sauerstoffmengen in den Basen sind folgende

in CaO	= 8,26	
FeO	3,74	} 7,66
MgO	3,61	
MnO	0,31	

Das Verhältniß des Sauerstoffs in den Basen FeO, MgO, MnO zu dem in CaO ist demnach wie 1:1,08; so daß, wenn anders eine Formel aufgestellt werden darf, dem Ankerite die dem Normaldolomite entsprechende Formel gegeben werden muß:



Vielleicht ist es keine zu kühne Speculation in den sich nähernden Werthen für den Endkantenwinkel und für das Atomvolum des Mangan-, Eisen- und Talkspathes den Grund zu sehen, warum diese drei Carbonate in der oben aufgestellten Formel zusammengefaßt werden müssen. Der Umstand jedoch, daß sich für den unter dem Ankerite befindlichen Eisenspath nicht wohl eine Formel aufstellen läßt, berechtigt zu der Ansicht, daß die Natur hier nicht nach atomistischen Verhältnissen geschaffen hat, sondern daß, je nachdem die Flüssigkeit von den rhomboëdrisch krystallisirenden Substanzen enthalten hat, je auch die sich bildenden, krystallinisch ausscheidenden Späthe davon auf-

genommen, und ihre Rhomboëder mit etwas abweichenden Kantenwinkeln und anderen, mehr oder weniger deutlich hervortretenden, physikalischen und chemischen Verschiedenheiten gebildet haben.

*X. Ueber die Messung der ebenen Krystallwinkel und deren Verwerthung für die Ableitung der Flächen;
von Dr. Friedrich Pfaff in Erlangen.*

Da die ebenen Winkel der Krystalle eben so gut wie die Kantenwinkel von den Parametern der Flächen abhängig sind, so würden sich aus den ersteren wie aus den letzteren die Axenwerthe berechnen lassen, wenn man nur mit der gleichen Genauigkeit beide ausmessen könnte. Die ungemeine Vervollkommenung, welche Reflexionsgoniometer nach und nach erlangt haben, wird gewiß für alle Zeiten das Messen der Kantenwinkel als das geeignetste und einzig sichere erscheinen lassen, wo es sich darum handelt, die Grundverhältnisse eines Krystalles mit Genauigkeit festzusetzen. Sind diese aber erst einmal festgesetzt, handelt es sich nur noch darum, die Ableitungscoefficienten für einzelne Flächen zu finden, so ist der Grad der Genauigkeit in der Messung der Winkel, welche eben zu letzteren erforderlich ist, auch leicht mittelst anderer Messungsvorrichtungen zu erreichen, die viel rascher zu dem erlangten Ziele führen, als es mittelst des Reflexionsgoniometers möglich wäre.

Das Anlegegoniometer, mit dem man bis zu einem halben, höchstens einem Viertelgrade unter günstigen Umständen richtige Messungen anstellen kann, ist daher nie außer Gebrauch gekommen und reicht auch in den meisten Fällen zu dem genannten Zwecke vollkommen aus.

Es kommen aber gewifs sehr viele Fälle vor, wo der Mineraloge sich gern über die Parameterwerthe einer Fläche einer bekannten Mineralspecies Aufschluß verschaffen möchte, wo aber weder das Reflexionsgoniometer noch das Anlegegoniometer anwendbar sind, da beider Instrumente Anwendbarkeit eine beschränkte ist. Die Krystallflächen sind zu klein, spiegeln nicht, die Krystalle sitzen ungeschickt auf und man mag oder kann nicht immer den Versuch machen, sie loszuschlagen.

Eine sehr flächenreiche Combination eines Schwerspathkrystalles der Art war es, die mich darauf brachte, mit Hülfe von Messungen ebener Winkel noch die Flächen zu bestimmen, bei denen weder mit dem einen noch mit dem anderen der gewöhnlichen Goniometer das erreicht werden könnte. Ich glaube, daß dies einfache Verfahren, welches ich nach mehrfachen anderen Versuchen, die ebenen Winkel zu messen, als das geeignetste gefunden habe, in einer großen Zahl von Fällen, wo weder ein Reflexionsgoniometer noch ein Anlegegoniometer etwas leisten kann, werde zum Ziele führen, wovon ich mich durch mehrfache Anwendung desselben bereits überzeugt habe.

C. Schmidt¹⁾ hat nach Frankenheim's Vorschlage (Annalen Bd. XXXVII, S. 637) eine Vorrichtung angeeignet, um bei mikroskopischen Krystallen ebene Winkel zu messen; am Oculare, das mit einem Fadenkreuz versehen ist, ist nämlich ein Gradbogen angebracht, an dem man ablesen kann, um wie viele Grade man das Ocular gedreht habe.

Bringt man nun einen mikroskopischen Krystall so in das Gesichtsfeld, daß der Scheitelpunkt des zu messenden Winkels mit dem Kreuzungspunkte der Fäden, der eine Schenkel des Winkels zugleich mit einem derselben zusammenfällt und dreht nun das Ocular so lange, bis derselbe Faden mit dem anderen Schenkel des Winkels zusammenfällt, so giebt die an dem Gradbogen abzulesende Drehung den Winkel an. So einfach dieses Verfahren

1) Krystallonomische Untersuchungen. Mitau und Leipzig 1846.

erscheint, so große Schwierigkeiten erheben sich bei der Ausführung desselben; es giebt nämlich nur dann ein richtiges Resultat, wenn der Kreuzungspunkt der Fäden und der Scheitel des Winkels ganz genau centrirt sind und während der Drehung stets über einander liegen bleiben. Das ist aber außerordentlich schwer zu erreichen; bei der Drehung des Oculars in der Röhre verschiebt sich dasselbe immer so, daß jene nothwendige Bedingung nicht mehr erfüllt ist. Diesen Uebelstand zu vermeiden, habe ich eine Vorrichtung construirt, bei der die Messung dadurch geschieht, daß der ebene Krystallwinkel durch die Abweichung einer Magnetnadel gemessen wird, indem der Krystall zugleich mit einer Bussole so gedreht wird, daß zuerst die eine Kante, welche den zu messenden Winkel bildet mit einem Faden in einer Lupe zusammenfällt und dann der andere. Das einfache Instrument, dessen ich mich bediente, ist so construirt (Fig. 16, Taf. III):

An einem rechtwinkligen vierseitigen Messingstabe *A* läßt sich ein Arm *B* mit einer Hülse *C* durch ein Getriebe auf- und abbewegen. In die Hülse *C* lassen sich verschiedene Lupen einstecken, über sie wird ein Ring *D* geschoben, von dem zwei Stiftchen *a* und *b* ausgehen, zwischen denen ein feiner Faden (Spinngewebe oder Kokonfaden) ausgespannt ist. Auf dem Brettchen *E*, das durch zwei Stellschrauben horizontal gestellt werden kann (den dritten Stützpunkt bildet das etwas zugespitzte Ende von *A*), befindet sich eine Platte *F*, die um einen senkrecht auf *E* unter dem Mittelpunkte von *C* sich befindlichen Stift gedreht werden kann. Auf ihr ruht ein viereckiges längliches Kästchen *G*, dessen Boden auf einer ganz ebenen ziemlich starken Messingplatte befestigt ist, in dem unbeweglich die Bussole *H* eingesetzt ist. *J* ist ein hölzerner kreisrunder mit einem Rande versehener Ring, in dem sich theilweise ausgeschnittene durchbohrte Scheiben *K* leicht drehen lassen. Auf diesen Scheiben werden die Krystalle dadurch befestigt, daß rings um ihr messingene etwas federnde Stifte in die vorhandenen Löcher eingedreht werden.

Der Ring selbst ist in c durch einen in f mit einem Char-
 niere versehenen rechtwinklig gebogenen Arm mit G ver-
 bunden. Er läßt sich um den horizontalen Theil des Ar-
 mes drehen. Dann ruht er noch auf zwei Armen g und h ,
 die von den Stiften d und e ausgehen, an diesen auf und
 abgeschoben und durch kleine Stellschrauben beliebig fest-
 gestellt werden können. Dadurch ist es möglich, dem Ringe
 J und mit ihm dem auf K befestigten Krystalle die nöthige
 Neigung geben zu können. Die Anwendung des Instru-
 mentes ist nun sehr einfach. Man bringt nämlich den Kry-
 stall so auf K , daß die Fläche, deren ebener Winkel ge-
 messen werden soll, horizontal liegt wie die Boussole
 selbst. Man stellt nun den Arm B und den Ring D so,
 daß die eine Kante genau mit dem Faden ab zusammen-
 fällt; da die Messingplatte, die den Boden des Kästchens G
 bildet, nur durch ihre Schwere auf F ruht, so läßt sich
 dieses Zusammenfallen leicht bewerkstelligen durch Ver-
 schieben der Platte oder auch Drehung der Scheibe K . Ist
 die eine Kante nun genau mit dem Faden zusammenfallend,
 so bemerkt man genau den Stand der Nadel und dreht nun
 das Brettchen F bis die zweite Kante zum Zusammenfallen
 mit dem Faden gekommen ist, wobei man ebenfalls, wenn
 es nöthig seyn sollte, wieder das Kästchen G auf seiner
 Platte etwas rücken kann, und bemerkt nun wieder den
 Stand der Nadel am Gradbogen. Sollte zufällig der Kry-
 stall selbst sie bedecken, oder ein Theil seiner Unterlage,
 so hebt man die Scheibe K mit dem Krystalle aus dem
 Ringe heraus, was nach Hinaufwinden des Armes B leicht
 ohne Erschütterung geschehen kann, und liest nun ab. Aus
 dem Stande der Nadel vor und nach der Drehung findet
 man unmittelbar den Drehungswinkel, d. i. zugleich den
 gesuchten ebenen Winkel.

Es fragt sich nun, welche Genauigkeit kann man auf
 diese Weise bei seinen Messungen erreichen und welche
 Fehlerquellen kommen dabei besonders in Betracht?

Was das erstere betrifft, so ist es einleuchtend, daß
 es dabei sehr auf die Genauigkeit der angewandten Bus-

sole ankommt, jedenfalls kann man aber behaupten, daß sich derselbe Grad der Genauigkeit wie bei einem Anlegoniometer erreichen läßt, nämlich etwa bis zu einem Viertelgrad, und zu dem angegebenen Zwecke, nämlich die Ableitungscoefficienten für Flächen bekannter Mineralien zu finden, ist das vollkommen ausreichend.

Von den Fehlerquellen sind besonders zwei, die wir — abgesehen von den aus der Unvollkommenheit der Krystalle entspringenden — hier zu erörtern haben. Die eine entspringt aus dem vollkommenen Zusammenfallen der Kante des Fadens, die zweite aus einer Abweichung der Fläche von der horizontalen Lage.

Was die erstere betrifft, so ist es leicht ersichtlich, daß nur bei sehr kurzen Kanten der Fehler etwas beträchtlich werden kann, indem je länger die Kante, desto leichter eine Divergenz des Fadens und der Kante vermieden werden kann. Doch kann auch hier durch Anwendung von stärker vergrößernden Lupen der Fehler verringert werden. Ich habe um dies zu prüfen sehr kleine Granatkrystalle, Granatoëder mit abgestumpften Kanten, gewählt, bei denen die eine Seite des Rhombus nur $\frac{3}{4}$ Millimeter lang war. Mehrfache Messungen des ebenen Winkels des Rhombus, so wie auch des ebenen Winkels an der dreikantigen Ecke der Leucitoëderflächen ergab in diesem Falle einen Fehler von $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ Grad für die Messung. Für gewöhnlich bediene ich mich einer Lupe von zweifacher Vergrößerung, doch habe ich selbst eine von ungefähr zehn bei sehr kleinen glatten Flächen anwenden können, wozu ich mich eines Oculars von einem Steinheil'schen Fernrohrs bediene, das verkehrte aber sehr scharfe Bilder liefert. Ich erlaube mir, hier noch einige Bemerkungen anzuknüpfen, die denen, welche hie und da Messungen von ebenen Winkeln auf diese Weise vornehmen wollen, nützlich seyn können. Da die Fläche, auf der ein ebener Winkel gemessen werden soll, horizontal gestellt seyn muß, so spiegelt sie bei gewöhnlicher Beleuchtung kein directes Licht; die mit ihr in den Kanten, welche die Schenkel des zu messenden

Winkels bilden, zusammenstossenden Flächen haben dagegen öfters eine solche Neigung, daß sie sehr stark spiegeln. Ist dieses der Fall, so zeichnet sich dadurch die Kante äußerst scharf und bestimmt als Gränzlinie zwischen der reflectirenden und nicht reflectirenden Fläche aus. Diesen Vorthail kann man sich in den meisten Fällen, wo die Neigung der Fläche eine andere, als die zum Spiegeln nöthig ist, dennoch verschaffen, entweder, indem man bei Lampenlicht mißt und nun dieselbe in die dazu erforderliche Stellung bringt, oder noch einfacher mittelst eines einfachen kleinen Glasspiegels, den man so stellt (was ganz leicht mit der Hand geschehen kann), daß das von ihm auf die Fläche geworfene Licht so auffällt, daß es von dieser zum Auge gelangt. Wenn auch nicht sehr stark, so spiegelt doch auch in diesem Falle die Fläche hinreichend, daß sich die Kante sehr scharf abzeichnet. Namentlich bei kurzen Kanten ist das sehr zu empfehlen. Noch bemerke ich auch, daß ich nach der Farbe oder Farblosigkeit der Krystalle entweder Spinnfäden oder verschieden gefärbte Kokonfäden anwende.

Die zweite Fehlerquelle, Unrichtigkeit der Messung wegen Abweichens der Fläche von der horizontalen Stellung, kann wohl kaum eine bedeutende werden, ja in den meisten Fällen kann sie bei dem überhaupt erreichbaren Grade der Genauigkeit nicht in Betracht kommen. Man sieht leicht, daß der Winkel immer größer gefunden wird, so wie eine oder die andere, oder beide Kanten, die ihn bilden, nicht genau horizontal liegen. Auch in diesem Falle läßt uns die Anwendung von Lupen die Abweichung kleiner Kanten (bei größeren wird sie ohnehin leichter zu vermeiden seyn) aus der horizontalen Lage besser wahrnehmen und abhelfen. Sieht man darauf, daß der Faden *ab* ein für alle Mal mit der Nadel horizontal gestellt ist, so darf man nur den Arm *B* herabschrauben bis der Faden die Kante fast berührt; ein Mangel an Parallelismus wird sich hier leicht zeigen, eben so wie bei stärkerer Vergrößerung dadurch, daß die Kante nicht in ihrem ganzen

Verlaufe gleich scharf gesehen wird. Wie gering übrigens dieser Fehler auch bei merklicher Abweichung von der horizontalen Lage wird, mag folgendes zeigen. Es sey x Fig. 17, Taf. III der zu messende Winkel, und derselbe werde um den Winkel y Fig. 18 aus der horizontalen Lage um c gedreht. Das von oben beobachtende Auge sieht nun die Linie b um xz verkürzt. Nun ist offenbar $\operatorname{tg} x = \frac{c}{b}$ durch diese Verkürzung geworden $\frac{c}{b-xz} = \frac{c}{b-\sin. \operatorname{vers} y}$. Dieser Fehler kommt hier wirklich kaum in Betracht, weil er äusserst klein ist, wenn die Abweichung von der horizontalen Lage nicht sehr bedeutend wird. Wäre $x = 60^\circ$ und $y = 5^\circ$, so fänden wir bei der Messung $x = 60^\circ 5' 18''$, also um eine Grösse gewachsen, die bei diesen Messungen nicht in Betracht kommt.

Die beiden Fehlerquellen werden nie ganz zu vermeiden seyn; ausserdem kommen noch manche durch die Unvollkommenheit des Instrumentes, der Krystalle u. s. f. hinzu. Doch mag das angeführte hinreichen, zu beweisen, dass man eben so sichere Messungen, wie mit dem Anlegegoniometer bewerkstelligen kann. Den Vorzug hat diese Art der Messung noch, dass sie in vielen von den Fällen, wo Reflexionsgoniometer und Anlegegoniometer durchaus nicht mehr ausreichen, noch anwendbar ist und daher wenigstens als *ultimum refugium* noch angewandt zu werden verdient. Ich habe Flächen, deren Breite kaum $\frac{1}{3}$ Millimeter betrug, auf diese Weise noch bestimmen können, da sie mit anderen bekannten sich in längeren Kanten schnitten, deren ebene Winkel sich noch messen liessen. Da diese Vorrichtung ohne grossen Aufwand schon mit einem guten geognostischen Compasse sich herstellen lässt, so steht auch von dieser Seite ihrer leichten Anwendbarkeit nichts im Wege.

Wer sich überhaupt mit Krystallberechnungen abgiebt, wird selbst leicht aus den ebenen Winkeln die Ableitungscoëfficienten berechnen können. In den meisten Fällen wird eine Rechnung aber gar nicht nöthig seyn.

Jeder der mit der Quenstedt'schen Projectionsmethode sich vertraut gemacht hat, wird die gefundenen ebenen Winkel mittelst eines Transporteurs oder mittelst des bergmännischen Compasses selbst, wenn derselbe dazu eingerichtet ist, die Streichungslinien in Karten einzutragen, so einzeichnen können, daß daraus die Ableitungszahlen der Fläche selbst zu finden sind.

XI. Ueber eine sehr flächenreiche Schwerspathcombination und Ableitung ihrer Flächen aus deren ebenen Winkeln; von Dr. Friedrich Pfaff.

In der Mineraliesammlung der hiesigen Universität befindet sich ein Schwerspathkrystall, der sich durch seine Schönheit und seinen außerordentlichen Reichthum an Flächen auszeichnet. Schon vor einer Reihe von Jahren zog er die Aufmerksamkeit des größten damals lebenden Mineralogen, Weifs, so auf sich, daß derselbe bat, ihn zu näherer Betrachtung mit nach Berlin nehmen zu dürfen, gewiss ein vollgültiges Zeugniß für das Interesse, das derselbe verdient, und allein schon ein hinreichender Grund, eine Beschreibung und Entwicklung desselben bekannt zu machen. Das letztere bot mir aber bis vor Kurzem noch unüberwindliche Schwierigkeiten dar, denn obwohl die Flächen fast alle sehr scharf und vollkommen glatt ausgebildet sich zeigen, so sind doch mehrere so klein und schmal, daß eine Ableitung derselben durch Messungen auf die gewöhnliche Weise nicht bewerkstelligt werden konnte. Je vollkommner und reicher aber ein Individuum alle Schönheiten und Eigenthümlichkeiten seines Krystallsystems aufzeigt, desto mehr reizt es, eine vollkommene und genaue Einsicht in dieselben zu erlangen, und eben dieser Kry-

stall war es, welcher mich auf das in dem vorhergehenden Aufsatz mitgetheilte Verfahren brachte, ebene Winkel zu messen und aus diesen die Ableitungszahlen unbekannter Flächen zu bestimmen. Man wird aus diesem Beispiele zugleich entnehmen können, was in einzelnen Fällen dieses Verfahren zu leisten im Stande sey, und wird eben deswegen ein etwas näheres Eingehen darauf von meiner Seite nicht ungerechtfertigt finden.

Der Krystall ist farblos durchsichtig und mit zwei anderen parallel der Fläche k ($b : \infty a : \infty c$) zusammengewachsen. Er ist von seiner Unterlage losgeschlagen und da er mit der Axe a aufgewachsen war, ist seine Begrenzung am hinteren Ende ohne natürliche Krystallflächen durch den zweiten und dritten blättrigen Bruch gebildet. Er ist in dieser Richtung von der vorderen Fläche s bis zu dem Durchschnittspunkte der beiden Blätterbrüche 3 Centimeter, in der Richtung von b zwischen k und k 2 Centimeter und in der von c zwischen P und P $1\frac{1}{2}$ Centimeter lang. Er ist von der jungen hohen Birke bei Freiberg.

Die Fig. 19, Taf. III zeigt den Krystall mit seinen sämtlichen Flächen, Fig. 20 dieselben in der gewöhnlichen Weise auf die Ebene der Axen a und b projecirt. Die Flächen gruppiren sich in folgender Weise:

1. In der Zone $\infty c : k$, λ , M , t , n , s .
2. In der Zone $\infty b : P$, m , d , u , s .
3. In der Zone $\infty a : P$, o , k .
4. In der Lateralkantenzone (a , b) des Hauptoctaëders z sind drei Octaëder z , ϑ , α .
5. In der einen Endkantenzone (b , c) aufser o das Octaëder y .
6. In der Zone der Flächen y , P ein als Abstumpfung ihrer Combinationskante erscheinendes Octaëder β , das zugleich zur Diagonalzone von m gehört.
7. Ein Octaëder γ zwischen y , o , P und dem eben erwähnten.

8. Ein Octaëder δ als Abstumpfung der Combinationskante $n:d$ erscheinend.

Ohne weitere Messung bestimmen sich die Häüy'schen Flächen $P = (c:\infty a:\infty b)$ $k = (b:\infty a:\infty c)$ $s = (a:\infty b:\infty c)$, ferner $o = (b:c:\infty a)$ $M = (a:b:\infty c)$ $z = (a:b:c)$.

Mittelst des Handgoniometers wurde d als die gewöhnliche $(2a:c:\infty b)$ und m als $(4a:c:\infty b)$ bestimmt.

Aus diesen Flächen lassen sich nun leicht die folgenden ableiten: y als zur Kantenzone (bc) , zugleich mit ϑ zur Diagonalzone von d gehörend, wird dadurch als die häufig auftretende Häüy'sche Fläche $y = (2a:b:c)$ bestimmt, zugleich ϑ aus der eben erwähnten Zone und der Kantenzone (a, b) des Octaëders z als $(2a:2b:c)$. Das Octaëder über ϑ gehört in eine Zone mit m und y , und ebenfalls zur Kantenzone (a, b) wird also $\alpha = (3a:3b:c)$. Das Octaëder β , zwischen y und P , gehört in eine Zone mit y und P , indem es mit parallelen Kanten zwischen diesen beiden Flächen auftritt; zugleich gehört es in die Diagonalzone von m , indem die Combinationskanten $y:m$ und $m:P$ rechtwinklig auf einander sind. Dadurch bestimmt sich dieses als das doppelt stumpfere Octaëder von y als $\beta = 4a:2b:c$.

Mittelst des Anlegegoniometers konnten noch n und t bestimmt werden, und zwar $n = (a:2b:\infty c)$ und $t = (a:\frac{3}{2}b:\infty c)$. So blieben noch die Flächen u , die zwischen n und d gelegenen, die Säulenfläche λ und die Flächen γ zwischen y , o , P und β . Diese konnten nur durch Messungen ebener Winkel bestimmt werden.

Die Fläche $n:d$ (in der Projectionsfigur mit δ bezeichnet) ist an dem Krystalle selbst nur halb so breit wie in unserer Figur, aber sehr scharf ausgebildet. Sie erscheint mit parallelen Kanten zwischen n und d , gehört also in eine Zone mit diesen beiden Flächen, wodurch der Zonenpunkt $(4b+2a)$ bestimmt wird. Die fragliche Fläche bildete an unserem Krystalle eine ungefähr zwei Millimeter lange Combinationskante mit der Fläche t . Es wurde nun der Winkel, den diese Kante mit der Kante $t:n$ bildete, ge-

messen und zu 116° gefunden. Daraus läßt sich nun leicht durch eine einfache Construction der Werth der Fläche finden.

Es stellen Fig. 21 Taf. III n, d, t, s die entsprechenden Flächen dar, so ist offenbar für unseren gemessenen Winkel $\gamma\beta\delta - 90^\circ \sin : \cos = \gamma\alpha : \alpha\beta$ und diese beiden Linien; wenn wir uns den Scheitel unseres Winkels in die Axe a gelegt denken, verhalten sich wie $\gamma\epsilon$ zu der Linie von $1a$ nach s gezogen, d. i. zur Hypotenuse im rechtwinkligen Dreiecke, wo $1a$ und Cs , d. i. $\frac{2}{3}b$, die Katheten sind. Projiciren wir nämlich (Fig. 22, Taf. III) sämmtliche hier in Betracht kommende Flächen auf die Ebene, die durch die Axen b und c geht, alle durch $1a$ gelegt gedacht, so wird d zu $a : \frac{1}{2}c : \infty b$, und die mit denselben Buchstaben bezeichneten Linien geben uns die Projectionen der Flächen n, d, t . Construiren wir uns nun die Hypotenuse für die beiden Katheten d und $\frac{2}{3}b$, tragen diese von ϵ aus auf die Axe b auf, $\epsilon\sigma$ unserer Figur, und ziehen von σ aus eine Linie, die mit $\sigma\epsilon$ einen Winkel $116 - 90 = 26^\circ$ bildet, so giebt uns der Durchschnittspunkt γ dieser Linie mit der Projection der Fläche t den zweiten Zonenpunkt, und eine Linie, welche durch diese beiden Punkte hindurchgeht, ist die Projection unserer Fläche, dieselbe ebenfalls durch $1a$ gelegt. Sie findet sich so als $\delta = a : 4b : c$.

Es läßt sich nun leicht auch durch Rechnung zeigen, daß der gefundene Winkel mit dem für den angegebenen Werth der Fläche berechneten so gut übereinstimmt, wie es sich nur bei der Kürze der Kanten erwarten läßt. Es ist, wie wir oben angegeben haben, für den gemessenen Winkel $- 90^\circ \sin : \cos = \gamma\epsilon : \sqrt{a^2 + (\frac{2}{3}b)^2}$.

Aus der Proportion $\gamma\epsilon : \epsilon\eta = iC : C\eta$ findet man $\gamma\epsilon = \frac{5}{8}c$. Setzt man nun die bekannten Werthe der Axen a, b, c des Schwerspathes in die obige Proportion für $\sin : \cos$, so findet man daraus den Winkel zu $25^\circ 43'$, und 90° hinzuaddirt, für den zu messenden in Wahrheit $115^\circ 43'$, also nur eine Abweichung von 17 Minuten.

Nun bestimmt sich auch folglich u als Abstumpfung der Combinationskante von unseren beiden Flächen δ , als das dritte zugehörige Paar, als $u = (a : \infty b : c)$.

Die Säulenfläche λ war ebenfalls an dem Krystalle so klein, daß sie mit dem Anlegegoniometer nicht gemessen werden konnte, auch matt, sonst aber wohl ausgebildet. Daß es nicht die öfter schon angegebene Fläche ($a : \frac{1}{2} b : \infty c$) seyn konnte, ging schon daraus hervor, daß die beiden Kanten, welche sie mit dem oberen und unteren y bildete, *nicht* parallel waren. Wo sie am schärfsten ausgebildet war, bot sie mit dem stark ausgedehnten z eine Kante dar, deren Winkel mit der Kante $z : y$ am besten gemessen werden konnte, da die Kante $\lambda : y$ weniger gut sich dazu eignete. Der Winkel, den die beiden Kanten $z : y$ und $z : \lambda$ mit einander bildeten, wurde gegen 62° gefunden. Die Construction, um aus diesem Winkel den Werth für λ zu finden, ist ebenfalls sehr einfach. Wir brauchen nur das Dreieck der Fläche des Rhombenoctaëders x zu construiren, und da die Combinationskante $z : y$ die Kante zwischen $1b$ und $1c$ giebt, so dürfen wir nur an die Spitze bei c eine Linie an die verlängerte Kante bc so legen, daß sie mit dieser ebenfalls den gemessenen Winkel x (Fig. 23, Taf. III) bildet, und dieselbe so weit ziehen, bis sie die verlängerte Kante zwischen b und a schneidet; denn offenbar muß die Säulenfläche λ , durch die Axe c gelegt, in der Richtung $C\lambda\lambda$, die verlängerte Octaëderfläche z schneiden. Auf der Projectionsfigur Fig. 20 entspricht dem Punkte $\lambda\lambda$ der Fig. 23 derselbe Punkt $\lambda\lambda$, wodurch unsere Fläche $\lambda = (a : \frac{1}{2} b : \infty c)$ gefunden wird. Berechnet man unter dieser Annahme für λ aus der gewöhnlichen trigonometrischen Formel den Winkel, so findet man, daß er genau $60^\circ 54' 11''$ wird. Bei der Kürze der Kante $\lambda : z$ kann man wohl kaum eine noch größere Genauigkeit als bis auf ungefähr einen Grad erwarten; daß unserer Fläche der angegebene Werth zukomme und daß sie nicht etwa die von anderen Mineralogen angeführte Fläche ($a : \frac{1}{3} b : \infty c$) sey, geht daraus hervor, daß diese Fläche auf z , wie sich ebenfalls leicht

berechnen läßt, mit der Kante $z : y$ einen Winkel von $66^\circ 27'$ bilden würde, was von unserer Messung viel zu sehr abweicht; ein fernerer Grund dafür möchte wohl auch in den Zonenverhältnissen liegen, wie sie sich auf unsere Figur 20, Tafel III ergeben. Unter dem angenommenen Werthe ($a : \frac{1}{4}b : \infty c$) gehört sie mit in die so reich entwickelte Zone $y, o, \alpha, \lambda, \gamma$ und m , während sie als ($a : \frac{1}{3}b : \infty c$) angenommen fast ganz isolirt dastände.

Wir haben jetzt nur noch die kleine Fläche γ zwischen y, o und P gelegen, die zu ihrer Bestimmung zweier Messungen bedarf, da keine ihrer Kanten uns auf eine bekannte Zone hinführt. Die Fläche ist kleiner als in der Zeichnung und zeigt einige Streifen parallel der Kante $\gamma : o$. Es wurden die beiden Winkel, welche diese Fläche auf P und auf o mit der Kante $o : P$ bildet, resp. ihre Complementary zu 180° , gemessen. Ersterer wurde aus wiederholten Messungen zwischen 8 und 9° , das Complement des zweiten zu 26° gefunden. Aus dem ersteren ergibt sich das Verhältniß für $a : b$, in welchem unsere Fläche diese beiden Axen schneidet zu $a : \frac{1}{8}b$. Für dieses ergibt die Rechnung $8^\circ 43'$ als den fraglichen gemessenen Complementwinkel. Die Construction, um aus dem zweiten Winkel das Verhältniß für c zu finden, ist ebenfalls sehr einfach und das Verfahren ähnlich dem oben angewandten. Es ist nämlich offenbar der stumpfe Winkel $180 - 26 = 154^\circ$. Ziehen wir von diesem 90° ab, so erhalten wir den Winkel, den auf der Fläche o unsere Kante $\gamma : o$ mit der Kante, die von $1c$ nach $1b$ geht, bildet. Tragen wir daher wieder in unserer Projectionsfigur von $1b$ aus eine Linie gleich der Kante zwischen b und $c = \sqrt{b^2 + c^2}$ auf die Axe b auf, und ziehen von diesem Punkte aus eine Linie, die mit b einen Winkel von $154^\circ - 90^\circ = 64^\circ$ bildet, so bestimmt uns diese auf der Projectionslinie der Fläche o den Punkt ($4a + 1b$) als denjenigen, durch welchen unsere Fläche γ , durch $1c$ gelegt, so gehen muß, daß sich für a und b die abgeschnittenen Stücke verhalten wie $1a : \frac{1}{3}b$. Das giebt dann für unsere Fläche $\gamma = 4a : \frac{1}{2}b : \frac{1}{3}c$

oder $12a : \frac{3}{4}b : c$. Der zu 26° gefundene Winkel wird für diese Werthe der drei Dimensionen a, b, c nach der Rechnung $26^\circ 54'$.

Das Uebereinstimmen dieser beiden Winkel mit den angegebenen Werthen der Fläche ist, bei der geringen Ausdehnung derselben, immerhin so, daß wir sie als die angegebene mit Bestimmtheit annehmen können, um so mehr, als die Fläche dann ebenfalls unserer am reichsten entwickelten Zone omy u. ff. angehört, und jede andere nahe liegende Annahme so bedeutende Abweichungen der ebenen Winkel von den durch die Messung erhaltenen Gröfsen zeigen würde, daß dadurch dieselben alle ausgeschlossen werden.

Behalten wir nämlich unsere eben erwähnten Hauptzonenpunkte für die Fläche bei, nehmen aber als zweiten nicht $\frac{3}{4}b$, sondern $2b$, so würde dadurch die Fläche gleich $8a : 2b : c = 2a : \frac{1}{2}b : \frac{1}{4}c$, der Winkel auf o bliebe dann unverändert, aber auf P würde dann der gemessene zwischen 8° und 9° gefundene Complementwinkel schon etwa 17° , also doppelt gröfser als die Messung ihn ergab. Würden wir aber bei dem Verhältnifs $a : \frac{1}{2}b$ bleiben, also den ebenen Winkel als richtig auf P beibehalten und statt unseres Zonenpunktes $(4a + b)$ etwa den $(3a + b)$ wählen, so würde unsere Fläche dadurch gleich $10a : \frac{3}{4}b : c = 2a : \frac{1}{4}b : \frac{1}{5}c$, aber der gemessene ebene Winkel auf o würde dann statt 26° etwa 34° , also um 8° von dem gefundenen abweichen. Dasselbe gilt auch für alle übrigen Annahmen in noch höherem Grade.

Somit wären alle Flächen abgeleitet. Die Projectionsfigur 20 Taf. III zeigt dieselben sämmtlich und wird die Eigenthümlichkeiten der Entwicklung dieses Krystalles besser darstellen, als es mit vielen Worten geschehen könnte.

Mir ist kein Krystall aus dem rhombischen Systeme bekannt geworden, der einen solchen Flächenreichthum in sich vereinigte. Es sind nicht weniger als 94 Flächen, welche die eben entwickelte Combination bilden, nämlich sieben verschiedene Octaëder, drei aus der Hauptreihe z, ϑ, α ,

zwei aus der Nebenreihe γ , β und u und die beiden γ und δ aus den zwei stark entwickelten Zonen m , o und n , d , drei horizontale Prismen aus der Zone (∞b) m , d und u , vier verticale Prismen n , t , M , λ , das horizontale Prisma o und die sechs eine oblonge rechtwinklige Säule bildenden Flächen P , k und s , gewiß ein sehr seltenes Beispiel, daß sich so nicht leicht wieder finden dürfte.

XII. Ueber das Daseyn der Circularpolarisation im Zinnober; von Hrn. Descloizeaux.

(Compt. rend. T. XLIV, p. 876.)

Bekanntlich ist der Quarz das einzige Mineral, bei dem man bisher ein (optisches) Drehvermögen und zugleich die Relation, die zwischen diesem und gewissen hemiëdrischen Krystallflächen statt zu finden scheint, aufgefunden hat. Man weiß auch, daß diese merkwürdige Eigenschaft nur dann in krystallisirten Substanzen nachzuweisen ist, wenn sie *einfachbrechend* oder *einaxig doppeltbrechend* sind, und zwar nur in Richtung der Axe, wo jeder Einfluß der Doppelbrechung aufhört.

In zweiaxigen Krystallen, wo keine Symmetrielinie dieselben optischen Eigenschaften besitzt, hat man sie bisher nicht entdecken können, vielleicht weil in diesen Krystallen die Doppelbrechung das unvergleichlich schwächere Drehvermögen verdeckt.

Jedenfalls war es also interessant, den schon bekannten Thatsachen neue wohl erwiesene hinzuzufügen. Diejenigen, welche ich der Akademie vorzulegen die Ehre habe, wurden kürzlich von mir an einem Körper aufgefunden, dessen wohl bestimmte krystallographische Kennzeichen nichts Eigenthümliches in den optischen Eigenschaften zu versprechen schienen. Hr. Schabus hat nämlich im J. 1851

in den *Denkschriften der Wiener Akademie* eine vollständige Monographie des Zinnobers bekannt gemacht. Diese Arbeit enthält die Beschreibung einer zahlreichen Reihe neuer Gestalten, die sich alle nach ziemlich einfachen Gesetzen aus einem scharfen Rhomboëder von $71^{\circ} 47'$ ableiten lassen; allein, da der Zinnober leicht nach den Flächen eines sechsseitigen Prisma spaltbar ist und die Gesamtheit seiner Modificationen besonders aus dirhomboëdrischen Flächen besteht, so kann für seine Grundgestalt ein regelmäßiges sechsseitiges Prisma angenommen werden. Uebrigens kommt keine der von Hrn. Schabus beschriebenen Flächen mit denjenigen hemiëdrischen überein, die man beim Quarz *plagiëdrische* nennt.

In dem Wunsche mich zu überzeugen, ob der Zinnober, wie es Hr. Brewster angiebt, ein *negativer* Krystall sey, liefs ich sehr dünne Blättchen winkelrecht gegen die Axe von ihm abschneiden, und suchte durch die üblichen Verfahrungsarten den Character der Doppelbrechung zu ermitteln; allein sogleich gewahrte ich, dafs diese Verfahrungsarten für den beabsichtigten Zweck vollkommen ungenügend waren. Die Ringe nämlich, die sich in einer solchen Platte durch convergirendes polarisirtes Licht bildeten, hatten alle Eigenschaften derjenigen, die man in einem Quarz von mittlerer Dicke beobachtet. Das schwarze Kreuz erstreckte sich nicht bis zur Mitte des Feldes, und diese Mitte erlitt, mit den Ringen, eine Zusammenziehung oder Ausbreitung, je nachdem man den Zerleger von der Linken zur Rechten oder von der Rechten zur Linken drehte. Schaltete man ein Glimmerblatt von einer Viertelwelle ein, so erhielt man Spiralen ganz vergleichbar denen eines *linksdrehenden* Quarzes unter denselben Umständen, und ihre Aufrollung stand in Beziehung mit dem Sinn, in welchem die Ringe sich zusammenzogen oder ausbreiteten.

Was die der Axe parallelen Blättchen betrifft, so habe ich sie, obwohl man sie durch Abspalten sehr dünn bekommt, niemals so durchsichtig und so regelmäfsig erhalten,

um ermitteln zu können, ob sie eine geradlinige oder elliptische Polarisation darbieten.

Die Gesamtheit der optischen Eigenschaften näherte also die Zinnoberkrystalle, mit denen ich arbeitete, den *linksdrehenden* Quarzkrystallen. Es blieb mir noch übrig, Zinnoberblättchen im isolirten Zustand zu finden, die dem *rechtsdrehenden* Quarz entsprächen. Das Daseyn derselben kann übrigens nicht zweifelhaft seyn, da ich einen Zwilling, bestehend aus zwei kleinen, hemitropisch um eine gemeinsame verticale Axe sitzenden Rhomboëder, beobachtet habe, welcher die Airy'schen Spiralen zeigt, ganz wie wenn man eine *linke* Quarzplatte auf eine eben so dicke *rechte* Quarzplatte legt.

Wie ich vorhin gesagt, deutet nichts in den von Hrn. Schabus studirten Formen auf eine mit dem Drehvermögen zusammenhängende Hemiëdrie, obwohl kleine, etwas undentliche Flächen an den Krystallen einen unvorbereiteten Beobachter leicht entgangen seyn könnten. Wie dem auch sey, so schien es mir nothwendig eine neue Untersuchung der optischen und krystallographischen Characteres des Zinnobers vorzunehmen.

Scheinbar homogene Blättchen dieses Minerals, im parallelen polarisirten Licht untersucht, zeigen Unregelmäßigkeiten und Ueberdeckungen ganz von der Art, wie man sie so häufig am Quarz beobachtet. Es ist also sehr schwierig, die Drehung der Polarisationsebene bei diesen Blättchen genau zu messen. Indefs habe ich bei einer kleinen sehr

reinen Platte von etwa 0^{mm},2 Dicke eine Drehung

von etwa 54 bis 60° gefunden. Angenommen, nach den Beobachtungen des Hrn. Biot, daß 1 Millimeter Quarz die Polarisationsebene der rothen Strahlen 18° ablenke, findet man, daß das Drehvermögen des Zinnobers ungefähr das 15- bis 17-fache von dem des Quarzes ist.

Obgleich ich noch dahin zu gelangen hoffe, so habe ich mir doch noch nicht ein hinreichend durchsichtiges Prisma

verschaffen können, um die beiden Brechungs-Indices des Zinnobers zu messen. Ich kann bis jetzt nur sagen, daß diese Indices sehr bedeutend seyn müssen; denn die Ringe, die man in Blättchen von 0,2 bis 0,4 Millimeter sieht, sind sehr zahlreich und zusammengedrängt.

XIII. Vervollständigung der vorhergehenden Notiz und Beobachtungen über das Drehvermögen der Krystalle des schwefelsauren Strychnins;
von Hrn. Descloiseaux.

(*Compt. rend. T. XLIV, p. 909.*)

Neue Beobachtungen erlauben mir heut meine frühere Notiz über die Circularpolarisation des Zinnobers zu vervollständigen. Zunächst habe ich *rechtsdrehende* Platten im isolirten Zustande angetroffen, die mir bisher fehlten und auf deren Daseyn ich nur durch die in einer Zwillingsplatte wahrgenommenen Spiralen geschlossen hatte. Ferner habe ich die schon angedeutete Analogie zwischen dem Quarz und dem Zinnober auf die Structur beider Mineralien ausdehnen können. Unter den Zinnoberplättchen, die ich habe schleifen lassen, sind nämlich nur sehr wenige einfach; die meisten zeigen Gruppen von Stellen, die bald eine gleiche, bald eine entgegengesetzte Drehung haben. Diese Gruppen sind der Art, daß sie im convergirenden polarisirten Licht bald die Airy'schen Spiralen, wie im zweifachdrehenden Brasilianischen Quarz vorkommen, bald das in den Amethysten so häufige schwarze Kreuz erblicken lassen. Das deutliche Vorkommen dieses schwarzen Kreuzes hat mich in den Stand gesetzt, mittelst einer Glimmerplatte von einer Viertelwelle den Sinn der Doppelbrechung des Zinnobers zu bestimmen, was ich bisher nicht vermochte. Ich erkannte dadurch, daß der Zinnober

zu den *positiven* oder *attractiven* Krystallen gehört, und nicht zu den *repulsiven*, wie Hr. Brewster irrthümlich angegeben hat; allein, was diese Bestimmung unzweifelhaft macht, ist: der relative Werth des *ordentlichen* und *aufserordentlichen* Indexes. Operirend mit zwei, recht durchsichtigen Prismen, deren Kanten der Hauptaxe parallel waren, und die respective die Winkel $15^{\circ} 5'$ und $18^{\circ} 50'$ besaßen, erhielt ich Zahlen, die nur in der dritten Decimale von einander abwichen, und im Mittel ergaben für den ordentlichen Index 2,854, für den aufserordentlichen 3,201. Ich glaube nicht, daß man eine andere Substanz kennt, die so bedeutende Indexe besitzt.

Was den Vergleich des Zinnobers mit dem Quarz hinsichtlich des Drehvermögens betrifft, so habe ich darin, wegen Mangels hinreichend großer und gegen die Axe hinreichend winkelrechter Platten, noch nicht die wünschenswerthe Genauigkeit erreicht. Ich glaube jedoch, daß man der Wahrheit sehr nahe kommt, wenn man 15 Millimeter Quarzdicke als erforderlich zur Compensation von 1 Millimeter Zinnober annimmt.

In meiner früheren Notiz habe ich gesagt, daß keine Hoffnung vorhanden sey, die Circularpolarisation in anderen als *einfachbrechenden* oder *einaxigen doppeltbrechenden* Krystallen anzutreffen, weil man sie nämlich bisher bei keinem der *zweiaxigen* Krystalle gefunden hat, die sie in ihren Auflösungen besitzen; allein man weiß, daß die meisten activen Substanzen entweder im geraden oder im schiefen rhombischen System krystallisiren. Dennoch war ich vor Kurzem so glücklich einen Körper anzutreffen, dessen Krystalle, zum quadratischen System gehörend, die Circularpolarisation zeigen, während zugleich die Lösung ein sehr merkliches Drehvermögen besitzt, wie Hr. Bouchar dat vor etwa 14 Jahren nachgewiesen hat. Dieser Körper ist das, von Hrn. Rammelsberg für wasserfrei gehaltene *schwefelsaure Strychnin*. Nach schönen Exemplaren, die seit lange im Laboratorium des *Collège de France* aufbewahrt, und mir von Hrn. Berthelot zugesandt wur-

den, zeigt das schwefelsaure Strychnin zuweilen Quadrat-octaëder, mehr oder weniger abgestumpft durch eine gegen die Axe winkelrechte Basis und im Allgemeinen nach dieser Basis abgeplattet. Das gewöhnliche Octaëder, dessen Flächen schwach horizontal gestreift sind, und das ich durch $b^{\frac{1}{2}}$ bezeichnen werde, zeigt folgende Incidenzen:

$$*p b^{\frac{1}{2}} = 102^{\circ} 3'$$

$$b^{\frac{1}{2}} b^{\frac{1}{2}} = 155^{\circ} 54' \text{ Seitenkante}$$

$$b^{\frac{1}{2}} b^{\frac{1}{2}} = 92^{\circ} 30' \text{ Endkante.}$$

Aus dem ersten Winkel, der ziemlich genau genommen werden konnte, ergibt sich, daß eine Seite der Basis sich zur Höhe des primitiven Prisma verhält wie 1000:2342,26. Ein noch stumpferes Octaëder, dessen Flächen eine sehr schmale Einfassung an den Intersectionsanten der Basis p und des Octaëders $b^{\frac{1}{2}}$ bilden, giebt:

$$p b^{\frac{1}{2}} = 125^{\circ} 26'$$

$$b^{\frac{1}{2}} b^{\frac{1}{2}} = 156^{\circ} 37'$$

Hr. Rammelsberg endlich, welcher in seinem *Handbuche der krystallographischen Chemie* diese Krystalle als dem wasserfreien Sulfat angehörend beschreibt, giebt, statt meines Octaëders $b^{\frac{1}{2}}$ eine noch stumpfere Abstumpfung, deren Symbol b^6 wäre und mit der Base einen Winkel von $158^{\circ} 41'$ bilden würde. Die Octaëder des schwefelsauren Strychnins lassen sich sehr leicht parallel ihrer Basen in dünne Blättchen spalten; sie haben mir bis jetzt keinerlei hemiëdrische Flächen gezeigt.

Untersucht man sie in convergirendem polarisirtem Lichte, so sieht man dichtliegende und zahlreiche Ringe, durchschnitten von einem Kreuz, dessen Mitte nicht vollkommen schwarz ist, und das eine bläuliche Farbe besitzt, die desto weniger dunkler ist, je dicker der Krystall. Legt man mehrere tafelförmige Krystalle auf einander, so daß eine Gesamtdicke von 4 bis 5 Millimeter entsteht, so verschwindet das centrale Kreuz mehr oder weniger vollständig und das Phänomen nähert sich dem, welches man in Quarzplatten von geringer Dicke wahrnimmt. Das Daseyn des schwar-

zen Kreuzes erlaubt, mit Hülfe einer Glimmerplatte von einer Viertelwelle, sogleich zu erkennen, ob die Doppelbrechung *negatio* oder *positio* sey. Unterwürfe man die Krystalle des schwefelsauren Strychnins nur dem convergirenden Lichte, so könnte man, da ihre Dicke gewöhnlich nicht über 1 bis 1,5 Millimeter hinausgeht und bei solcher Dicke ihr Drehvermögen nur einen sehr kleinen Theil der von der Doppelbrechung bewirkten Erscheinungen zerstört, das Daseyn dieses Vermögens nicht sicher nachweisen; betrachtet man sie aber im parallelen Lichte, so sieht man sogleich blaue Farben von verschiedener Nüance, vom Roth bis zur Holzfarbe, sich entwickeln, so wie man den Zerleger von Rechts nach Links dreht, und die ganz verschwinden, so wie man diese Drehung fortsetzt. Alle Krystalle, die ich bisher untersucht habe, sind *linksdrehend*, wie die Auflösung der Substanz in Wasser. Nach dem Mittel aus einer ziemlich zahlreichen Reihe von Beobachtungen, gemacht mit einem rothen Glase an Krystallen, deren Dicke gemessen mit dem Sphärometer $\frac{1}{100}$ Millimeter betrug, kann man annähernd annehmen, daß 1,52 Millimeter wasserfreies krystallisirtes schwefelsaures Strychnin 1 Millimeter Quarz entsprechen.

Lebhaft hätte ich gewünscht, daß es mir möglich gewesen wäre, das Drehvermögen der Krystalle mit dem ihrer Lösungen zu vergleichen; unglücklicherweise besitze ich aber eine zu geringe Menge von diesen Krystallen, um eine hinreichend concentrirte, zu optischen Beobachtungen geeignete Lösung davon zu machen. Die Quadratoc-taëder sind nämlich bis jetzt eine Seltenheit und das im Handel vorkommende Strychnin zeigt sich gewöhnlich in Nadeln oder in verlängerten rectangulären Tafeln, deren Grundform ein gerades rhomboidales Prisma von $116^{\circ} 22'$ ist, wie Hr. Schabus in seiner *Beschreibung der Laboratoriumsproducte* gezeigt hat. Aller Wahrscheinlichkeit nach, ist dieses Salz wasserhaltig, 7 bis 8 Aequivalente Wasser einschließend; allein das wasserfreie und das wasserhaltige Sulfat bilden sich offenbar unter noch wenig bekannten Einflüssen, denn bei verschiedenen Fabrikanten

chemischer Producte habe ich octaëdrische Krystalle inmitten gewöhnlicher prismatischer gesehen, und als ich eine neutrale, heifs gesättigte Lösung dieser letzteren Krystalle an freier Luft abdampfen liefs, gelang es mir, sie in octaëdrische Krystalle zu verwandeln. Nach der Bestimmung des Hrn. Bouchardat (*Ann. de chim. et de phys. Ser. III, T. IX p. 213*) würde das Drehvermögen des in Wasser gelösten schwefelsauren Strychnins ungefähr $\frac{1}{30}$ oder $\frac{1}{40}$ von dem des Quarzes seyn; allein es ist unmöglich zu sagen, ob nicht eine ausschliesslich mit octaëdrischem Sulfat gemachte Lösung ein anderes Drehvermögen besitze. Die Untersuchungen, die ich zur Aufhellung dieser Zweifel vorzunehmen gedenke, werden Gegenstand einer künftigen Mittheilung seyn.

XIV. Silber im Meerwasser; von Prof. Dr. S. Bleekrode.

Die Versuche von Herrn Field über das Vorkommen von Silber im Meerwasser (*Annalen* 1857 Heft 2) habe ich auf gleiche Weise wiederholt. Ich gebrauchte dazu *Yellow-Metal* oder das gelbe Kupfer-Zink von Muntz, welches zur Bekleidung der Niederländischen Indienfahrer angewandt wird. Dieses Yellow-Metall war *englisches* Fabrikat, da solches erst seit fünf Jahren in Holland fabricirt wird.

Die Resultate von Field's Versuchen auf metrisches Gewicht reducirt, waren:

35,326 Grm. Silber auf 1000 Kilogrm. Schiffsbekleidung
und 238,006 " " " " " "

Meine Versuche ergaben:

270 Grm. auf 1000 Kilogrm.
und 341 " " " "

Ich nahm zu jeder Probe 1 Kilogrm.

Diese Schiffsbekleidung war wegen Abnutzung nach 5 bis 6jährigem Gebrauch vom Schiffe abgenommen worden, und ist bestimmt bei der Fabrikation von neuem Yellow-Metall mit eingeschmolzen zu werden. Die Resultate der Bestimmung des Silbergehaltes müssen nothwendig ungleich seyn, da die Bekleidung ungleich abgenutzt und auch mit dem Absatz ungleichartig belegt ist.

Ich werde bald möglichst das neu fabricirte Yellow-Metall untersuchen, wobei obengenanntes mit eingeschmolzen ist, sowie auch die Abfälle und Schlacken.

Uebrigens ist diese Wahrnehmung nicht ohne Interesse. Jährlich werden im Königreich der Niederlande 300000 Kilogrm. angewandt, theils zur Reparatur von abgenutzter Schiffsbekleidung, theils für neue Schiffe. Setzen wir demnach die mittlere Dauer der Schiffsbekleidung auf 6 Jahren und ihren Silbergehalt auf 300 Grm. pro 1000 Kilogrm., so würden in 100 Jahren ungefähr $16 \times 300 \times 300 = 1440$ Kilogrm. Silber aus dem Meerwasser reducirt werden. Und diese Zahl wird für die englischen und amerikanischen Schiffe mehr als hundertfach größer oder zu 144000 Kilogrm.

Delft, den 19. November 1857.

XV. *Akustisches Phänomen;* *von Prof. Dr. Meister.*

In der Geschichte der Akustik finden wir Fälle aufgezählt, daß Gläser durch Hineinschreien zersprengt wurden, und neben diesen werden auch Fälle angeführt, wobei ein solches Zerspringen eingetreten seyn soll, wenn der dem Glase eigenthümliche Ton auf einer Violine saite stark angegeben worden war; allein letztere Thatsachen werden

von Vielen bezweifelt, daher glaube ich nachstehende wohl verbürgte Thatsache mit Nebenumständen in dieser Zeitschrift veröffentlichen zu müssen.

Im Laufe des vorigen Monats, der auch hier ein ungewöhnlich warmer war, zersprang plötzlich während des Klavier-Unterrichts in einem Privathause ein sogenanntes (ziemlich dickes) Schoppenglas, das leer auf einem Porcellanteller und Komodenkasten in einiger Entfernung vom Klavier gestanden hatte, und zwar laut Mittheilung des Unterrichtenden (es ist der sehr tüchtige und gründliche Musiklehrer des hiesigen Schullehrer-Seminars Hr. Kirnberger) und der gleichzeitig anwesenden ebenfalls musikalischen Mutter der Schülerinn unter folgenden näheren Umständen und Erscheinungen: Die Schülerinn, welche einen kräftigen Anschlag hat, spielte das *gis* der zweigestrichenen Octave, welches zufällig im Instrumente stärker als die übrigen Töne klingt, mit voller Kraft an; gleichzeitig vernahm man mit diesem Tone einen anderen der Höhe nach gleichliegenden, der sich jedoch von dem Tone des Instruments durch ein eigenthümliches »Schrillen oder Gellen« unterschied und gleich darauf sahen die Anwesenden, daß das erwähnte Glas, aus dem kurz zuvor ein Brausetränk genommen worden, zersprungen war, und zwar war der Bruch ein peripherischer laut Autopsie etwas über dem dicken Boden hinlaufender, doch hielt das Glas vorerst noch zusammen. Dieses zersprungene Glas gab darauf einen (um eine Quarte) tiefern Ton.

Dieses sind die näheren von den verlässigsten Zeugen constatirten Umstände des akutisch merkwürdigen Factums.

Freising, den 5. November 1857.

I. *Ueber die Extraströme;*
von P. L. Rijke.

1. Hr. Edlund ist meines Wissens der einzige Physiker, der sich damit beschäftigt hat, die Gesetze der Extraströme durch genaue Messungen zu bestimmen. In der in diesen Annalen Bd. 77, S. 161 veröffentlichten Abhandlung ist er zu folgenden zwei Gesetzen gelangt:

- 1) Die beim Oeffnen und Schliessen einer galvanischen Kette durch die Einwirkung des Stromes auf sich selbst entstehenden Inductionsströme sind gleich groß, wenn die inducirende Stromstärke in beiden Fällen die nämliche ist.
- 2) Die beim Oeffnen und Schliessen einer galvanischen Kette durch die Einwirkung des Stromes auf sich selbst entstehenden Inductionsströme sind der inducirenden Stromstärke proportional.

Dies sind gewiss zwei wichtige Gesetze. Jedoch kann man nicht sagen, Hr. Edlund habe durch Aufstellung derselben den Gegenstand vollständig erschöpft. Man kann in Betreff der Extraströme noch eine große Zahl von Fragen aufwerfen, auf welche man bis jetzt, wenigstens experimentell, noch keine Antwort gefunden hat.

2. Es liegt nicht in meiner Absicht, mich mit allen hieher gehörigen Fragen zu beschäftigen. Ich habe nur diejenigen vorgenommen, an deren Lösung mir lag für Untersuchungen, mit denen ich mich künftig zu beschäftigen hoffe.

Die erste Frage, die ich zu lösen suchte, ist die: Ist das erste Gesetz des Hrn. Edlund noch richtig, sobald

in die Axe der inducirenden Drahtrolle ein Eisenkern gelegt worden, d. h. ist die Elektrizitätsmenge, welche beim Schliessen der Kette durch Induction in Bewegung gesetzt wird, und welche das, was ich ersten Extrastrom nennen werde, ausmacht, noch gleich der Elektrizitätsmenge, die beim Oeffnen der Kette durch Induction in Bewegung geräth, und die, wie ich es nennen werde, den zweiten Extrastrom darstellt?

3. Die Methode, die ich zur Messung der Extrastrome angewandt habe, ist die von Hrn. Edlund erdachte, welche ihm so wohl gelungen ist. Sie besteht darin, den Strom eines Rheomotors *A*, der mit einem Commutator *D* versehen ist, bei *a* Fig. 1, Taf. V in zwei gesonderte Ströme zu spalten, und diese die beiden Drähte eines Differentialgalvanometers *C* in entgegengesetztem Sinne durchlaufen zu lassen. Ehe diese Ströme zum Galvanometer gelangen, durchläuft der eine die Windungen einer Drahtrolle *B*, der andere einen Metalldraht *F*, der so gestaltet ist, daß sich darin kein merklicher Extrastrom bilden kann, und der an Widerstand fast der Drahtrolle gleich ist. Ein Kupferdraht *mt*, welcher *F* verlängert, geht durch die Klemmschraube *un*, die mit einem der Galvanometerdrähte verknüpft ist. Die Länge *mu* kann daher nach Belieben verringert oder vergrößert werden. Die außerordentliche Empfindlichkeit des Galvanometers hat mich verhindert, gewöhnliche Rheostaten zur Regulirung des Widerstandes des Zweiges *akFmunopg* anzuwenden, denn unvermeidliche Ungleichheiten des Contacts zwischen dem Läufer und dem Draht des Rheostats würden Abweichungen von mehreren Minuten hervorgebracht haben. Wenn ein Strom, dessen Intensität gleich Eins ist, beim Durchlaufen des Galvanometerdrahtes *ef* ein Drehungsmoment F_1 , und beim Durchlaufen des Drahtes *op* ein Drehungsmoment F_2 in umgekehrter Richtung hervorbringt, so bleibt die Galvanometernadel unter dem Einfluß der beiden von *a* ausgehenden Ströme in Ruhe, sobald man für r_1 und r_2 , nämlich für die Widerstände von *a b B c d e f g* und *akFmunopg*, hat:

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{F_1}{F_2} \dots (I)$$

Angenommen, man habe der Gleichung (I) genügt, und unterbreche nun die Kette in s , so ist klar, daß man in B eine elektromotorische Kraft erregen wird, die einen Strom hervorruft, welcher die beiden Drähte des Galvanometers durchlaufen wird, aber dieß Mal in *gleichem* Sinne. Die Nadel wird folglich abgelenkt, und wenn diese Ablenkung eine gewisse Gränze nicht überschreitet, kann man nach Hrn. W. Weber beweisen, daß sie proportional ist dem anfänglichen Impuls, d. h. der gesammten Elektrizitätsmenge, die durch die in B stattfindende Induction in Bewegung gesetzt wird. Dasselbe gilt von dem Strom, den man beim Schließen der Kette inducirt.

4. Das Galvanometer ist mit vieler Sorgfalt von Hrn. Ruhmkorff construirt und zwar nach dem Systeme des Hrn. W. Weber. Bei meinem Instrument ist die Nadel ein hohler Stahlcylinder von 0^m,11 Länge. Der galvanometrische Draht besteht aus drei gesonderten Drähten, von denen zwei, die ich allein zu diesen Untersuchungen angewandt habe, einen fast gleichen Widerstand besitzen. Diese drei Drähte sind auf einen ovalen Messingrahmen von 0^m,16 Länge und 0^m,065 Breite gewickelt. Im Innern dieses Messingrahmens befindet sich ein Kupferrahmen von gleicher Form aber nur 9 Millimeter Dicke, der zum Dämpfen der Schwingungen des Magnets bestimmt ist. Der Spiegel, an welchem der Magnet hängt, ist von Metall und hat die Gestalt eines Quadrats von 0^m,04 Seite; die Strähne Seidenfäden ohne Torsion ist 0^m,45 lang. Die in Millimeter getheilte Scale war in solchem Abstand von dem Spiegel aufgestellt, daß jedes Millimeter etwa einer Winkel-Verschiebung von 60 Sekunden entsprach, und, da sich noch Zehntel einer Abtheilung schätzen ließen, ging die Genauigkeit der Messungen bis 6 Sekunden.

5. Die Hauptschwierigkeit, welcher man bei dieser Art von Untersuchungen begegnet, liegt in den Veränderungen,

welche das Verhältniß $\frac{r_1}{r_2}$ unaufhörlich erleidet. Gesetzt nämlich, es sey gelungen, die Länge des Drahtes mu so zu reguliren, daß, wenn man den in A erregten Strom anhaltend wirken läßt, die beiden Zweigströme sich in ihrer Wirkung auf die Galvanometernadel zuletzt vollständig aufheben, so ist klar, daß dieser Neutralisationszustand gemein vorübergehend seyn wird. Damit er permanent bliebe, müßte man voraussetzen können, daß die beiden Zweigströme die Drahtleitungen, in denen sie circuliren, gleichviel erwärmen, und daß überdies in diesen beiden Zweigen eine vollkommene Gleichheit hinsichtlich der Gestalt und eine vollkommene Homogenität hinsichtlich der Substanz vorhanden wäre. Man weiß aber, daß die beiden letzten Bedingungen nicht verwirklicht werden können, und gleiches gilt unglücklicherweise auch von der ersteren. In der That müssen der Draht der Rolle B und der Draht F , vermöge der Rolle, die sie zu spielen bestimmt sind, auf verschiedene Weise angeordnet seyn, und es ist klar, daß die Wärmestrahlung und der erkältende Einfluß der Luft einen ungleichen Effect auf diese Leiter ausüben werden.

Daraus folgt, daß die GröÙe $\frac{r_1}{r_2}$ nur ausnahmsweise gleich $\frac{F_1}{F_2}$ seyn wird; aber nur wenn diese beiden GröÙen gleich sind, ist man berechtigt anzunehmen, daß die elektromagnetischen Wirkungen der erhaltenen Extraströme proportional sind den beobachteten Ablenkungen. Hr. Edlund hat jedoch bewiesen (§. VII der erwähnten Abhandlung), daß, wenn die GröÙe Δr_2 , die man zu r_2 hinzufügen muß, damit die beiden Zweigströme sich vollständig neutralisiren, sehr klein ist gegen r_2 , die Fehler, die man begeht in der Annahme, daß die beiden Ströme der Winkel-Ablenkung der Nadel proportional seyen, unterhalb der Beobachtungsfehler liegen.

6. Noch ist ein anderer Punkt zu erwägen. Wir nehmen an, daß der Impuls, den der in B inducirte Strom mittheilt, proportional sey der beobachteten Ablenkung; al-

lein, wenn diese Annahme richtig seyn soll, muß die Nadel, im Moment, da sie diesen Impuls empfängt, sich in der Gleichgewichtslage befinden. Aber die Nadel befindet sich nicht daselbst, wenn nicht die Widerstände unserer beiden Zweige genau proportional sind zu F_1 und F_2 . Bevor man die Kette öffnet, unterliegt die Nadel der vereinigten Wirkung des Erdmagnetismus und der beiden Zweigströme, die voraussetzlich einander neutralisiren; wenn man dagegen durch das Oeffnen der Kette den Extrastrom erregt hängt die Gleichgewichtslage alleinig von der Wirkung des Erdmagnetismus ab. Wenn man also die Kette öffnet, befindet sich die Nadel wirklich abgelenkt von dem, was man als Gleichgewichtslage betrachten muß. Es ist klar, daß es sich beim Schließen der Kette ebenso verhält. Hr. Edlund hat bewiesen, daß, wenn x die Zahl der Abtheilungen ist, um welche die Nadel sich aus der Gleichgewichtslage abgelenkt befindet, und u die Ablenkung, die man beobachtet, die der Nadel mitgetheilte Geschwindigkeit, welche mit h bezeichnet seyn mag, berechnet werden kann mittelst der Formel:

$$h = -nx - \sqrt{[mu^2 e^{2n(T-t)} - (m - n^2)x^2]} \dots (II)$$

in welcher m und $2n$ die Quotienten vorstellen, welche man erhält, wenn man durch das Trägheitsmoment der Nadel dividirt die magnetische Directionskraft der Erde und die Verzögerungskraft, die entspringt aus dem Widerstand der Luft und aus den inducirten Strömen, welche die Oscillationen der Nadel in beiden Rähmen und den Galvanometerdrähten hervorrufen. T repräsentirt die Dauer einer Oscillation und t die Zeit, welche die Nadel gebrauchen würde, um aus der Amplitude u_1 , die der Amplitude u gegenüber liegt, zu dem Abstand x von der Gleichgewichtslage zu gelangen. Die Formel ist nur richtig, so lange die Oscillationen der Nadel nicht gewisse Gräenzen überschreiten.

Sobald der Werth von x klein ist, kann die obige Gleichung, wie es Hr. Edlund bewiesen hat, unter die Form gebracht werden:

$$h = \sqrt{m} \cdot e^{ax} \left(u + bx - c \frac{x^2}{u} \right) \dots \text{(III)}$$

wo a , b und c Constanten sind, die sich berechnen lassen sobald man den Werth von e^{ax} bestimmt hat, d. h. den Werth der Gröfse, deren Logarithmus Gaußs den Namen des logarithmischen Decrements gegeben hat.

7. Man nimmt stillschweigend an, dafs, wenn man die Kette *schliesst* und die Nadel sich unter Wirkung des Extrastroms in Bezug setzt, das Verhältnifs der von den beiden Strömen ausgeübten Drehungsmomente constant bleibe. Diese Annahme ist jedoch nur insofern richtig, als die Lage der Nadel sich in Beziehung auf jeden der Galvanometerdrähte auf gleiche Weise verändert. Unglücklicherweise können die Drähte niemals so aufgewickelt werden, dafs diese Bedingung genau erfüllt würde. Man muß sich daher bemühen, auf einem anderen Wege die Schwankungen des Verhältnisses $\frac{F_1}{F_2}$ unmerklich zu machen.

Das am meisten übliche Mittel besteht darin, dem Rahmen für die Windungen des Galvanometerdrahtes einen sehr grofsen Durchmesser gegen die Dimensionen der Nadel zu geben, oder auch sich auf die Beobachtung sehr kleiner Ablenkungen zu beschränken. Ich habe vorhin die Dimensionen des Rahmens und die der Nadel angegeben. Sie sind so, dafs sie mich zu verdammen schienen, stets das letztere Mittel zu gebrauchen. Indefs ist dem nicht also, da ich für Ablenkungen bis zu 30 Scalentheilen gefunden habe, dafs wenn eine Ablenkung der Nadel um eine gewisse Zahl von Abtheilungen nach der Rechten das Verhältnifs $\frac{F_1}{F_2}$ z. B. verringert, eine Ablenkung nach der Linken

es um eine gleiche Gröfse vergrößert. Zu dem Ende mafs ich die permanente Wirkung eines Stromes auf die Nadel, erstens wenn sie sich in ihrem natürlichen Gleichgewichtszustand befand, zweitens wenn der Gleichgewichtszustand durch einen in gehöriger Lage angebrachten starken Magnet nach der Rechten verschoben war, und drittens, wenn

derselbe ebenso um eine gleiche Gröfse nach der Linken verschoben war. Folgendes waren die erhaltenen Resultate. Der Strom wurde durch ein Daniell'sches Element erzeugt.

Nadel in d. natürlichen Gleichgewichtslage.			Nadel rechts abgelenkt.			Nadel links abgelenkt.		
Gleichgewichtslage bei		Unterschied.	Gleichgewichtslage bei		Unterschied.	Gleichgewichtslage bei		Unterschied.
offner Kette.	geschlossen.		offner Kette.	geschlossen.		offner Kette.	geschlossen.	
495,7	495,7	0,0	526,1	525,1	+1,0	465,1	466,1	-1,0
495,5	495,4	+0,1	526,9	525,9	+1,0	464,8	465,7	-0,9

Man sieht, daß die Unterschiede nicht über die Gränze der Beobachtungsfehler hinausgehen.

Nichts ist nun leichter als sich gegen die eben bezeichnete Fehlerquelle zu schützen. Es genügt, aus zwei Ablenkungen, die durch Ströme von entgegengesetzten Richtungen erhalten wurden, das Mittel zu nehmen. Gesetzt nämlich, wir schliessen die Kette, und nehmen zur Fixirung der Ideen an, der Commutator sey so gestellt, daß der primäre Strom in den Windungen der Drahtrolle *B* eine positive Richtung nehme ¹⁾, gesetzt ferner, der entstehende Extrastrom lenke die Galvanometernadel rechts ab, und es sey F_2 das Moment, welches unter der Wirkung des primären Stromes die Nadel links zu drehen sucht, so wird offenbar die beobachtete Ablenkung zu klein seyn. Aendern wir nun, nachdem die Kette geöffnet worden, die Lage des Commutators so, daß die Richtung des Stromes umgekehrt wird und schliessen abermals die Kette, so wird die Nadel links abgelenkt werden, und es wird F_1 seyn, welches eine überwiegende Wirkung ausübt; allein da der

1) Ich sage, der Strom hat eine positive Richtung, wenn seine Richtung in den Windungen der Drahtrolle, deren Axe als lothrecht vorausgesetzt, dieselbe ist wie die, in welcher sich die Zeiger einer Uhr bewegen.

Strom umgekehrt wurde, so wird F_1 nicht mehr streben die Nadel nach der Rechten zu drehen, sondern nach der Linken. Die Ablenkung wird folglich vergrößert seyn, und zwar, wenn man sich auf Ablenkungen von nicht über 30 Minuten beschränkt, um eine Gröfse gleich der des Fehlers, den man begehen würde, wenn man die bei der ersten Schließung der Kette gefundene Ablenkung als richtig ansähe.

8. Bei dem von mir angewandten Galvanometer ist die dämpfende Kraft sehr stark, denn nachdem die Nadel um 40 Abtheilungen aus ihrer Gleichgewichtslage abgelenkt worden, kehrt sie, selbst wenn die Galvanometerdrähte offen sind, in weniger als 26" in dieselbe zurück. Die Intervalle zwischen zwei Beobachtungen sind also sehr klein. Obgleich ich nicht glaubte, daß dieser Umstand mich, selbst bei ausschließlicher Anwendung von Daniell'schen Elementen, zu der Annahme berechtigte, daß die Intensität des inducirenden Stromes nicht von einer Beobachtung zur anderen variirte, so habe ich doch gemeint voraussetzen zu können, daß, wenn die Beobachtungen in gleichen Zwischenzeiten auf einander folgen, die Intensität des primären Stroms bei der zweiten Beobachtung gleich sey dem Mittel aus den Intensitäten des Stroms bei der ersten und dritten Beobachtung. Ich glaube, meine Beobachtungen werden beweisen, daß diese Methode wenig zu wünschen übrig läßt.

9. Die inducirende Rolle, deren ich mich bediente, hatte 300 Windungen, und der Draht einen Durchmesser von 2 Millimet. Es ist die inducirende Rolle eines Ruhmkorff'schen Apparates, den ich in diesen Annalen Bd. 89, S. 172 beschrieben habe.

10. Wir haben gesehen (6), daß die beobachteten Ablenkungen fast immer eine Berichtigung erfordern, da die Gleichgewichtslagen selten die nämlichen sind bei geschlossener und bei offener Kette. Ich mußte also die Constanten der Gleichung (III) berechnen. Zu dem Ende mußte ich damit beginnen, das logarithmische Decrement mittelst der

Zurückwerfungsmethode von Gauss zu bestimmen¹⁾). Durch diese Methode erhielt ich folgende Reihen.

No. 1.

Erste Reihe.				Zweite Reihe.			
Gleichgewichtslage				Gleichgewichtslage			
zu Anfang d. Beob. 498,7				zu Anfang d. Beob. 499,2			
» Ende » » 499,2				» Ende » » 499,9			
Mittel 498,95				Mittel 499,55			
253,0	539,3	745,5	457,8	253,7	539,0	744,7	457,8
253,0	539,0	745,0	457,8	252,0	539,0	745,2	457,5
252,9	538,9	744,8	457,5	253,8	538,9	743,9	458,0
252,5	538,7	744,1	457,0	253,0	539,0	744,8	457,5
251,5	538,3	744,8	456,9	252,9	539,0	745,0	457,3
251,7	538,2	744,5	457,0	252,5	539,0	745,0	457,8
252,0	538,7	744,7	457,0	252,5	539,0	745,2	457,8
251,5	538,3	744,1	457,0	253,2	539,2	745,0	458,0
252,0	538,2	744,0	457,0	253,0	539,2	745,2	458,0
251,7	538,7	744,8	457,2	253,0	539,7	745,6	458,1
252,18	538,63	744,63	457,22	252,96	539,1	744,96	457,78

Dritte Reihe.

Gleichgewichtslage
zu Anfang d. Beob. 500
» Ende » » 500,7
Mittel 500,35

254,2	540,5	746,2	459,2
254,5	540,7	746,7	459,1
254,5	540,7	746,0	459,0
254,0	540,7	747,0	459,3
254,2	540,8	747,0	459,4
254,3	540,8	746,8	459,3
254,2	540,8	747,0	459,3
254,8	540,8	746,3	459,8
255,0	541,0	747,0	459,3
254,5	540,8	747,0	459,5
254,42	540,76	746,7	459,32

11. Da man nicht die Winkel der Ablenkung, sondern die Tangenten des Doppelten dieser Winkel beobachtet, so folgt, daß die Ablenkungen, welche man erhält, eine Berichtigung erfordern, die von dem Abstand des Spiegels von der Scale abhängt. Ich fand für diesen Abstand

1713^{mm},5.

1) Gauss und Weber, Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins, 1838 S. 98, und Weber, Elektrodynamische Maafsbestimmungen S. 349.

Darnach erhalten wir für den Werth von e^{-x}

für die erste Reihe	0,16644
„ „ zweite „	0,16640
„ „ dritte „	0,16655
Mittel	0,16646

und die Gleichung (III) wird

$$h = \sqrt{m \cdot e^{0,355x}} \left[u + 0,546x - 0,0765 \frac{x^2}{u} \right] \dots \text{(IV)}$$

12. Schon Hr. Edlund hat die Bemerkung gemacht, daß, wenn der erste und der zweite Extrastrom nur in dem Fall einer gleichen Intensität des inducirenden Stromes einander gleich sind, man nicht erwarten dürfe, beim Oeffnen und Schliessen der Kette gleiche Ablenkungen zu erhalten. Denn im Moment, da man die Kette öffnet, muß der inducirende Strom *caeteris paribus* immer schwächer seyn, als da man sie schließt, weil, während der Schließung, in dem galvanischen Apparate, selbst in einem für sehr constant gehaltenem, eine Polarisation entsteht, die den Strom schwächt. Man muß sich also so einrichten, daß wenn der inducirende Strom in den beiden Zweigen unterbrochen wird, dennoch in dem Rheomotor ein Strom von gleicher Intensität circulirt. Zu dem Ende hob ich die directen Verbindungen auf, welche in Fig. 1, Taf. V zwischen h und g und zwischen a und i bestehen, und verband die beiden Punkte h und i mit den beiden Klemmschrauben x und y eines speciell hiezu von Hrn. Logeman in Harlem verfertigten Commutators, Fig. 2. Das Instrument ist so eingerichtet, daß man diese Klemmschrauben nach Belieben in Verbindung setzen kann sowohl mit den Klemmschrauben v und w als mit denen v' und w' . Zu dem Ende sind die Klemmschrauben x und y durch Kupferstreifen verknüpft mit zwei Messingständern α und β , zwischen welchen ein Cylinder $\gamma\delta$ aus isolirender Substanz befindlich ist, versehen an seinen beiden Enden mit Messingkappen, die in Kegel auslaufen, deren Enden als Axen dienen und sich in den Ständern α und β drehen. Diese Kappen haben die Fortsätze ζ , η und ζ' , η' . Die Klemm-

schrauben v , w und v' , und w' sind versehen mit Messingstiften, die mit einem ihrer Enden auf den Cylinder $\gamma\delta$ drücken. Klar ist, daß man, um x und y mit z. B. v und w zu verknüpfen, den Cylinder nur mit der Handhabe $\varepsilon\theta$ so zu drehen braucht, daß die von v und w auslaufenden Stifte auf die Fortsätze $\zeta\eta$ und $\zeta'\eta'$ der Cylinderkappen zu liegen kommen. Die Punkte a und g , Fig. 1, communicirten durch metallische Leiter mit den Klemmschrauben v und w , während v' und w' unter sich verbunden waren durch einen Kupferdraht, dessen Widerstand gleich war dem, welchen der inducirende Strom beim Durchlaufen der verschiedenen Theile des in Fig. 1 abgebildeten Apparats von a bis g antraf.

13. Ich habe bereits bemerkt, daß gewöhnlich der Widerstand des Zweiges, welcher die Inductionsrolle enthält, fortwährend zunimmt, weil sich diese Rolle mehr erwärmt als der Draht, welcher ihr in dem anderen Zweige entspricht¹⁾). Diese Zunahme in dem Widerstande des einen Zweiges nöthigte mich den Widerstand des anderen Zweiges von Zeit zu Zeit zu vergrößern. Indefs, da ich zwischen den Beobachtungen, deren Resultate ich vergleichen wollte, nicht ungleiche Zeiten verstreichen lassen konnte, vermochte ich nicht die Gleichheit zwischen den beiden Zweigen so oft herzustellen, als ich es gewünscht hätte. Das hatte zur Folge, daß die Unterschiede zwischen den Gleichgewichtslagen bei der offenen und der geschlossenen Kette oft sehr groß waren. Freilich stand die Nadel selten still, wenn die Kette geschlossen war. Auch habe ich, wenn ich einen hohen Grad von Genauigkeit erreichen wollte, die Lage der Nadel aufgezeichnet sowohl im Moment, da der durch Schließung erregte Extrastrom zu wirken aufgehört hatte, als hernach im Moment, da ich die Kette öffnete.

1) Klar ist, daß, wenn die Temperatur des Laboratoriums stiege, ein umgekehrter Effect sich einstellen könnte. Der Fall war indess sehr selten. Ich brauche nicht zu sagen, daß ich alle mir zu Gebote stehenden Mittel anwandte, um die Temperatur des Laboratoriums so constant wie möglich zu halten.

14. Ehe ich weiter ging, wollte ich die Gewissheit haben, dafs ich, bei Befolgung der angegebenen Vorsichtsmafsregeln, hinreichend genaue Resultate erlangen könnte. Da nun ein Instrument offenbar desto mehr Zutrauen verdient, je mehr die beim Gebrauche desselben erlangten Resultate mit anerkannt richtigen Gesetzen übereinstimmen, so unternahm ich eine Reihe Messungen, um das zweite Gesetz des Hrn. Edlund (I) zu prüfen. Ich mafs also die Ablenkungen, welche die beiden Extraströme erzeugten, wenn die inducirende Drahtrolle keinen Eisenkern enthielt.

Folgende Tafel enthält die von mir erlangten Resultate:

No. 2.

Stromrichtung	Gleichgewichtslage bei offener Kette	Ausschlag beim Schliessen	Gleichgewichtslage bei geschlossener Kette		Ausschlag beim Öffnen	Gleichgewichtslage bei offener Kette	Ausschlag beim Schliessen	Gleichgewichtslage b. geschlossener Kette	Ausschlag beim	
									Schliessen	Öffnen
+	493,8	512,1	493	493	474,1	493,8	512	592,6	18,7	19,3
-	493,8	475,2	496	496	514	493,4	475,2	596	19,45	19,1
+	493,1	512	493	493	473,8	493	512	493,1	18,95	19,2
-	493	473,8	493,5	493,5	512,2	492,9	473,2	493,2	19,6	19
+	492,9	512	493,2	493,2	474	492,8	512,0	493,9	18,8	19
-	492,8	472,8	491,2	491	511	492,8	472,4	490,9	19,4	19,2
+	492,7	511	492,1	492,1	473,6	492,7	511,3	492,2	18,55	18,8
-	492,5	473,8	493	493	511,5	492,5	473,5	492,7	19	18,7
+	492,1	510,6	492	492	473	492,1	511	492,8	18,6	19
-	492	472,2	490,5	490,2	509,8	491,9	471,8	489,4	19	18,8
+	491,9	510,7	492,3	492,8	473,8	491,8	511	493,7	18,45	18,55
-	491,8	471,5	489,3	489,1	509,2	491,8	471,4	488,9	19,05	18,8
+	491,4	508,6	488,6	488,8	471,3	491,4	508,8	489	18,45	18,7
-	491,4	474	494,5	494,2	511,6	491,3	473,5	494	18,9	18,7
+	491,3	509	489,9	490	472	491,3	509,1	490,3	18,3	18,6
-	491,2	473	492,8	492,4	510,4	491,1	472,8	492,4	18,9	18,6
+	491,1	509,7	491,0	491	472,6	491,1	509,3	491,2	18,4	18,4
-	491,1	472,9	492,1	491,9	510,1	491,1	472,3	491,5	18,8	18,6
+	491	509,8	491,1	491,2	472,8	491,1	509,4	491,4	18,5	18,4
-	491,1	472,2	491	491	509,9	491	472	491	18,9	18,9
+	491	509,9	492	492	473	491	510	492,1	18,5	18,5
-	491	472	490,6	490,3	509,2	491	471,9	490,6	18,9	18,6
+	490,9	509,8	492	492	473	490,8	509,8	491,8	18,5	18,5
-	490,8	471,8	490	490,3	509	490,8	471,3	489,5	18,8	18,6

In der vierten Columnne findet man die Gleichgewichtslage im Moment, da der erste Extrastrom zu wirken aufgehört hatte, und in der fünften Columnne die Gleichgewichtslage im Moment, da man die Kette öffnete. Um unabhängig zu seyn von den Intensitätsvariationen des inducirenden Stroms vergleicht man die beim Oeffnen der Kette erhaltene Ablenkung mit dem Mittel der beiden beim Schliesssen erzeugten Ablenkungen, von denen die eine, in der dritten Columnne angegeben, dem Oeffnen vorangeht, und die andere, in der achten Columnne, demselben folgt. Dieses Mittel findet sich in der zehnten Columnne angegeben. Die elfte Columnne enthält die beim Oeffnen der Kette erhaltene Ablenkung. Die Zahlen der zehnten und elften Columnne mußten natürlich die durch die Gleichung (IV) angegebene Berichtigung erleiden. Für die zehnte Columnne ist die Gröfse u der Unterschied der in der dritten und vierten, so wie in der achten und neunten Columnne enthaltenen Zahlen, und die Gröfse x ist der Unterschied zwischen den Zahlen der zweiten und vierten, so wie zwischen denen der siebenten und neunten Columnne. Für die elfte Columnne erhält man die Gröfse u , wenn man den Unterschied zwischen den Zahlen der sechsten und siebenten Columnne nimmt, und die Gröfse x , wenn man den Unterschied zwischen den Zahlen der sechsten und achten Columnne nimmt. x ist positiv, wenn die Nadel von einem Punkte ausgeht, welcher rücksichtlich der neuen Gleichgewichtslage, auf entgegengesetzter Seite von dem liegt, gegen welchen sie sich richtet.

Die erhaltenen Resultate können folgendermassen geordnet werden:

No. 3.

Ausschlag während die Stromrichtung war
 positiv | negativ
 beim

Schliessen	Oeffnen	Schliessen	Oeffnen
18,7	19,3	19,45	19,1
18,95	19,2	19,6	19
18,8	19	19,4	19,2
18,55	18,8	19	18,7
18,6	19	19	18,8
18,45	18,55	19,05	18,8
18,45	18,7	18,9	18,7
18,3	18,6	18,9	18,6
18,4	18,4	18,8	18,6
18,5	18,4	18,9	18,9
18,5	18,5	18,9	18,6
18,5	18,5	18,8	18,6
Mittel 18,56	18,74	19,06	18,8

Die vom Extrastrom bewirkte Ablenkung war also beim
 Oeffnen der Kette

wenn der Strom positiv war	18,74
„ „ „ negativ „	18,8
Mittel	18,77

und beim Schliessen der Kette

wenn der Strom positiv war	18,56
„ „ „ negativ „	19,06
Mittel	18,81

Man sieht, der Unterschied dieser beiden Mittel liegt
 unterhalb der Beobachtungsfehler.

Hr. Edlund hat, ebenso verfahren, gefunden
 für die Ablenkung beim Oeffnen 28,26
 „ „ „ „ Schliessen 28,40

Die Zahlen 18,74 und 18,8 weichen so wenig von ein-
 ander ab, daß man die Ablenkungen für den zweiten Ex-
 trastrom, der Strom mag positiv oder negativ seyn, als
 gleich betrachten kann. Diefs gilt nicht für den ersten
 Extrastrom; die Ablenkung ist gröfser bei negativem Strom
 als bei positivem. Diefs stimmt mit dem, was wir in (7)
 gesehen haben.

15. Nachdem ich mich sonach überzeugt hatte, daß ich, bei Befolgung der nöthigen Vorsichtsmafsregeln, mit meinen Instrumenten zum wenigsten eben so genaue Resultate wie Hr. Edlund erlangen konnte, schritt ich zur Untersuchung der Aufgaben, die ich mir gestellt hatte. Ich begann damit, die Ablenkungen zu messen, die man beim Schliessen und Oeffnen der Kette erhält, *wenn in der Axe der Drahtrolle ein Eisenkern befindlich ist*. Ich wandte hier dieselbe Drahtrolle an wie bei meinen früheren Versuchen. Der Eisenkern, den ich hineinsteckte, bestand aus einem Bündel Eisendrähte. Es war der Eisenkern mit dem Hr. Ruhmkorff seine Inductoren versieht. Der Strom war der eines sehr kleinen und sehr schwach geladenen Daniell'schen Elementes.

No. 4.

Stromrichtung	Gleichgewichtslage bei offner Kette	Ausschlag beim Schliessen	Gleichgewichtslage bei geschlossener Kette		Ausschlag beim Oeffnen	Gleichgewichtslage bei offner Kette	Ausschlag beim Schliessen	Gleichgewichtslage b. geschlossener Kette	Ausschlag beim	
									Schliessen	Oeffnen
+	494,2	520	494,1	494,1	468,1	494,5	520,6	493,8	26,1	26,2
-	494,1	467,8	494,4	494,5	521,1	494,1	467,2	494,8	26,8	26,8
+	494	521,9	494,2	494,2	466,1	494	522,2	494,6	27,85	28
-	494,3	465,7	494	494	522,8	494,1	465,1	493,8	28,7	28,8
+	494	522,9	493,4	493,5	465	494,8	523,7	493,9	29,25	29,1
-	494,4	464,8	494,9	494,9	521,7	494,7	464,8	494,9	29,9	29,9
+	494,1	523,9	493,4	493,3	463,7	493,9	523,8	493,4	30,2	29,9
-	494,4	464,4	495,1	495,1	525	494,7	464,8	495,3	30,25	30,1
+	494,4	524,3	494,1	494,1	464,1	494,3	524,2	494,1	30	30,1
-	494,4	464,3	494,5	494,2	524,2	494,1	464,1	494,1	30,05	30
+	494,1	524,2	494,1	494,1	464,1	494	524	494,1	30,05	30
-	494	464	494	494	523,9	494,3	464,4	494,1	29,9	29,8
+	494,8	524,3	494,9	494,9	465,2	494,2	523,8	494,3	29,55	29,4
-	493,8	464	493	493	522,7	493,7	464,2	493,2	29,35	29,4
+	491,2	523,3	491,4	491,4	459,1	491,6	524,2	491,7	32,3	32,4
-	492,1	458,6	492,2	492,1	525,9	492,1	458,2	492,2	33,7	33,8
+	492,1	526,2	492,1	492,1	457,9	492,3	526,8	492,1	34,35	34,3
-	492,4	457,7	492,7	492,7	527,3	492,3	457,2	492,6	35	34,8
+	492,1	527,1	491,9	491,9	456,9	492,2	527,3	492	35,15	35,1
-	492,2	456,8	492,4	492,4	527,9	492,1	456,8	492,3	35,45	35,6
+	492	527,7	492	492	456,3	492,2	527,9	492,1	35,7	35,8
-	492,3	456,4	492,7	492,7	528,3	492,3	456,7	492,6	35,9	35,8
+	492,6	528,2	492,5	492,4	456,7	492,4	528,2	492,4	35,7	35,7
-	492,7	456,8	492,8	492,7	528,7	492,7	457	492,8	35,8	36

Die erhaltenen Resultate können folgendermaßen angeordnet werden:

No. 5.

Ausschlag während die Stromrichtung war

positiv | negativ

beim

Schließen	Oeffnen	Schließen	Oeffnen
26,1	26,2	26,8	26,8
27,85	28	28,7	28,8
29,35	29,1	29,9	29,9
30,2	29,9	30,25	30,1
30	30,1	30,05	30
30,05	30	29,9	29,8
29,55	29,4	29,35	29,4
32,3	32,4	33,7	33,8
34,35	34,3	35,0	34,8
35,15	35,1	35,45	35,6
35,7	35,8	35,9	35,8
35,7	35,7	35,8	36,0
Mittel 31,36	31,33	31,73	31,73

Man sieht, daß die Intensität des inducirenden Stromes stets im Wachsen war. Dadurch erklärt sich auch das Mittel, welches man für die durch den zweiten Extrastrom erzeugte Ablenkung erhielt, als der Strom positiv, und als er negativ war.

Die durch den Extrastrom beim Oeffnen der Kette erzeugte Ablenkung wird also.

als der Strom positiv war 31,33

„ „ „ negativ „ 31,73

Mittel 31,53.

Beim Schließen der Kette war die Ablenkung

als der Strom positiv war 31,36

„ „ „ negativ „ 31,73

Mittel 31,545.

Der Unterschied zwischen den Zahlen 31,53 und 31,545 ist so klein, daß ich glaube schließen zu dürfen:

Wenn ein Metalldraht, den ein constanter galvanischer Strom durchläuft, so gestaltet ist, daß er eine in seiner Nähe befindliche Eisenmasse magnetisiren kann, so

sind die Elektricitätsmengen, welche man darin durch Induction beim Schließen und beim Oeffnen der Kette in Bewegung setzt, einander gleich.

16. Daraus, daß der Extrastrom dieselbe Wirkung auf die Galvanometernadel ausübt, wenn man die Kette öffnet und wenn man sie schließt, folgt keineswegs, daß man annehmen dürfe, der Extrastrom habe in den beiden Fällen dieselbe *Intensität*, wenigstens wenn man dies Wort in seiner gewöhnlichen Bedeutung nimmt, unter Intensität des Stroms die Elektricitätsmenge versteht, die in der Zeiteinheit durch irgend einen Querschnitt der Kette fließt. Die eben beigebrachten Versuche beweisen bloß, daß wir für die beiden Extrastrome haben:

$$\int_0^{\vartheta} i dt = \int_0^{\vartheta'} i' dt \dots (V)$$

wo i und i' für irgend ein Moment die Intensität des ersten und des zweiten Extrastromes bezeichnen, und ϑ die Dauer des ersten, ϑ' die des zweiten Stromes ist.

Angenommen, was gerade nicht wahrscheinlich ist, daß die beiden Größen i und i' constant seyen, giebt die Gleichung (V)

$$i \vartheta = i' \vartheta'$$

woraus, von dieser Annahme ausgehend, folgt, daß i nur in dem Falle i' gleich wäre, wo $\vartheta = \vartheta'$, d. h. in dem Fall, wo die beiden Ströme gleiche Dauer hätten. Giebt man nicht die Annahme zu, daß die Intensitäten beider Ströme constant seyen, betrachtet sie vielmehr als Functionen der Zeit, so kann man, selbst im Fall, wo die beiden Ströme gleiche Dauer hätten, nicht aus der Gleichung (V) ableiten, daß sie gleiche Intensität haben.

Obgleich es, im gegenwärtigen Zustand der Wissenschaft, nicht möglich erscheint, die Intensität eines Extrastromes für jeden Augenblick seiner Dauer zu bestimmen, so kann man doch entscheiden, ob die beiden Extrastrome als identisch betrachtet werden müssen, wenn sie dieselben

Functionen der Zeit sind. In der That, wenn in der Gleichung

$$\int_0^{\vartheta} i dt = \int_0^{\vartheta'} i' dt$$

$i = i' = \varphi(t)$, muß $\vartheta = \vartheta'$. Allein in diesem Falle müssen wir auch haben

$$\int_0^{\vartheta} i^2 dt = \int_0^{\vartheta'} i'^2 dt$$

Glücklicherweise können wir nun entscheiden, ob diese Gleichung richtig sey. Das Dynamometer des Hrn. Weber ist nämlich, wie man weiß, ein Instrument, in welchem die ausgeübte Wirkung proportional ist dem Quadrat der Intensität des dasselbe durchlaufenden Stromes, und daraus folgt, daß ein Strom von sehr kurzer Dauer, den man durch dasselbe leitet, der beweglichen Drahtrolle einen Impuls mittheilt, der proportional ist dem Integral der Wirkungen, die er während der successiven Augenblicke seiner Dauer ausübt. Daraus folgt dann, daß die erzeugte Ablenkung proportional seyn wird

$$\int_0^{\vartheta} i^2 dt.$$

Ist es uns demnach gelungen, unsere Apparate so einzurichten, daß nur die Extraströme das Dynamometer durchlaufen können, so werden wir zu entscheiden vermögen, ob die beiden Extraströme als gleich zu betrachten seyen.

Nun erhält man diese Einrichtung, wenn man die beiden Enden des Dynamometerdrahtes verbindet mit zwei Punkten M und N , die auf den Leitern cd und mu , Fig. 1, Taf. V genommen und so gelegen sind, daß man habe:

$$r_1 : r_2 = r_3 : r_4 \dots (\alpha)$$

wo r_1, r_2, r_3, r_4 die Widerstände von $aBM, Mdefg, aFN$ und $Nopg$ vorstellen. In diesem Falle sind die Ablenkungen, welche man beobachtet, wenn man einen bei a ein- und bei g austretenden Strom herstellt und unter-

bricht, alleinig bewirkt durch die elektromotorische Kraft, die in der Drahtrolle B erzeugt wird, und sie sind ganz unabhängig von der directen Wirkung des inducirenden Stromes.

In der That nennen wir r_0 den Widerstand des Zweiges MN , welcher das Dynamometer enthält, und r den Widerstand des Zweiges ag , welcher den galvanischen Apparat, der den inducirenden Strom hergibt, einschließt. Seyen überdies e die elektromotorische Kraft dieses Elektromotors, e' diejenige, welche in B wirkt, und bezeichnen wir durch $i, i_0, i_1, i_2, i_3, i_4$ die Intensität des Stromes, welcher in den Zweigen $r, r_0, r_1, r_2, r_3, r_4$ kreist, so haben wir nach dem Ohm'schen Gesetz:

$$i_1 = i + i_3 \dots (a)$$

$$i_1 = i_2 + i_0 \dots (b)$$

$$i_3 = i_0 + i_4 \dots (c)$$

und nach dem Princip des Hrn. Kirchhoff

$$i_0 r_0 + i_1 r_1 + i_3 r_3 = e' \dots (d)$$

$$i r + i_1 r_1 + i_2 r_2 = e + e' \dots (e)$$

$$i_2 r_2 + i_4 r_4 - i_0 r_0 = 0 \dots (f)$$

Durch Elimination von i_2 und i_3 verändern sich diese Gleichungen in:

$$i_0 + i - i_1 + i_4 = 0 \dots (g)$$

$$i_0 r_0 - i r_3 + i_1 (r_1 + r_3) = e' \dots (h)$$

$$-i_0 r_2 + i r + i_1 (r_1 + r_2) = e + e' \dots (i)$$

$$-i_0 (r_0 + r_2) + i_1 r_2 + i_4 r_4 = 0 \dots (k)$$

Die Gleichungen (g) und (k) geben durch Elimination von i_4

$$-i_0 (r_0 + r_2 + r_4) + i r_4 + i_1 (r_2 + r_4) = 0 \dots (l)$$

und dann i und i_1 zwischen (h) , (i) und (l) eliminirend erhält man:

$$\begin{aligned}
i_0 &= \frac{-e'[r_3(r_1+r_2)+r(r_2+r_4)]+(e+e')[-r_3(r_2+r_4)+r_4(r_1+r_2)]}{-(r_0+r_2+r_4)[r(r_1+r_2)]+r_0[-r_4(r_1+r_2)-r(r_2+r_4)]-r_2[-r_3(r_2+r_4)+r_4(r_1+r_2)]} \\
i_0 &= \frac{-e'[r_2(r_3+r_4)-r(r_2+r_4)]+e(-r_2r_3+r_1r_4)}{r[-r_0(r_1+r_2+r_3+r_4)-(r_1+r_3)(r_2+r_4)]-r_0(r_1+r_2)(r_3+r_4)-r_1r_2r_3-r_1r_3r_4-r_2r_3r_4}
\end{aligned}$$

Allein vermöge der Gleichung (α)

$$r_4 = \frac{r_2r_3}{r_1}$$

hat man:

$$\begin{aligned}
i_0 &= \frac{-e'\left[r_2\left(r_3+\frac{r_2r_3}{r_1}\right)+r\left(r_2+\frac{r_2r_3}{r_1}\right)\right]}{r\left[-r_0\left(r_1+r_2+r_3+\frac{r_2r_3}{r_1}\right)-(r_1+r_2)\left(r_2+\frac{r_2r_3}{r_1}\right)\right]-r_0(r_1+r_2)\left(r_3+\frac{r_2r_3}{r_1}\right)-r_1r_2r_3-r_2r_3^2-r_2^2r_3-\frac{r_2^2r_3^2}{r_1}} \\
i_0 &= \frac{e'r_2[r_3(r_1+r_2)+r(r_1+r_3)]}{[r_2(r_1+r_2)-r_2(r_1+r_3)][r_2(r_1+r_2)+r(r_1+r_3)]} \\
i_0 &= \frac{e'r_2}{r_0(r_1+r_2)+r_2(r_1+r_3)} \dots \dots \dots (VI)
\end{aligned}$$

Da das zweite Glied dieser Gleichung weder e noch r enthält, so folgt, daß der Werth von i_0 ganz unabhängig ist von diesen beiden Gröſsen. Der inducirende Strom hat also keinen Einfluß auf die Ablenkungen des Dynamometers und die beiden Extraströme üben Wirkungen aus, die direct vergleichbar sind.

Wie wir gesehen, müssen die Temperaturveränderungen, welche der inducirende Strom erzeugt, die relativen Werthe der Gröſsen r , r_2 , r_3 und r_4 abändern. Directe Versuche haben mir jedoch gezeigt, daß diese Veränderungen nicht so beträchtlich sind, daß dadurch der durch r_0 gehende Zweigstrom je eine solche Intensität erlange, um die bewegliche Drahtrolle des Dynamometers merklich abzulenken. Ich habe auch gefunden, daß dieses Instrument nicht die Ströme angiebt, die durch die Ablenkungen der Magnetnadel in den Galvanometerdrähten inducirt werden. Diese Ströme neutralisiren sich hinreichend. Das Dynamometer, dessen ich mich bediente, ist von Hrn. Ruhmkorff verfertigt worden. Es ist, was seine Haupttheile betrifft, dem Instrument ähnlich, welches Hr. Weber in den *elektrodynamischen Maafsbestimmungen* S. 218 beschrieben hat. Hr. Ruhmkorff hat es nur in einigen Nebendingen abgeändert; unter anderen können die oberen Rollen, welche die beiden Drähte tragen, an denen die bewegliche Drahtrolle hängt, nach Belieben näher und ferner gestellt werden. Die Zahl der Windungen in der beweglichen Drahtrolle ist überdißs geringer als bei dem Weber'schen Instrumente.

Da der Widerstand der Luft und die von der erdmagnetischen Kraft inducirten Ströme die einzigen Kräfte sind, welche die Schwingungen der beweglichen Drahtrolle, wenn ein instantaner Strom sie aus ihrer Gleichgewichtslage abgelenkt hat, zu beruhigen streben, so folgt, daß sie erst nach einer sehr großen Zahl von Schwingungen in diese Lage zurückkehrt. Die Mittel, durch welche man die Amplitude der Schwingungen auf ziemlich rasche Weise beträchtlich verringern kann, sind leicht zu ersinnen; allein

um sie vollständig zu vernichten, ist weit mehr Zeit erforderlich. Müßte man also, vor dem Beginn eines neuen Versuches, warten bis die Drahtrolle vollständig in ihrer Gleichgewichtslage zu Ruhe gekommen wäre, so würden die verschiedenen Beobachtungen nothwendig durch sehr beträchtliche Zeiträume von einander getrennt seyn. Indefs kann diese Schwierigkeit leicht beseitigt werden. Ge-
setzt nämlich die bewegliche Drahtrolle sey in Bewegung, und man öffne oder schliesse die Kette im Moment, da sie durch ihre Gleichgewichtslage geht, und man beobachte die Elongation u z. B. nach der Linken. Notirt man nun die Elongation u_1 nach der Rechten, die dem Moment der Erzeugung des Extrastromes vorangeht, so ist klar, daß der Impuls, den die Drahtrolle im Moment ihres Durchgangs durch die Gleichgewichtslage erhält, proportional seyn wird:

$$u - u_1 e^{-\alpha t}$$

wo $e^{-\alpha t}$ die Gröfse ist, deren Logarithmus das logarithmische Decrement des Systems ausmacht. Man sieht also, daß es leicht ist, die beobachteten Ablenkungen vergleichbar zu machen. Man braucht nur davon die Gröfse $u_1 e^{-\alpha t}$ abzuziehen.

Es wurde also erfordert, daß die Gröfse $e^{-\alpha t}$ bekannt war, jedoch nicht mit großer Genauigkeit, da die Gröfsen u_1 , welche in meine Rechnungen eintraten, immer sehr klein waren. Ich bestimmte sie jedoch nach der von Hrn. Weber befolgten Methode (*elektrodynamische Maafsbestimmung* S. 273), welche dieselbe ist, die Gauss in den „*Resultaten des magnetischen Vereins* i. J. 1837“ gegeben hat.

Die folgende Tafel enthält die von mir erhaltenen Resultate. Die Enden des Dynamometerdrahts waren verknüpft mit den Punkten M und N , Fig. 1, Taf. V, allein zwischen den Punkten a und g fand keine directe Verbindung statt.

Der Abstand des Spiegels von der Scale betrug, wie bei den folgenden Versuchen, 2^m,3819.

No. 6.

Beobachtungen zur Bestimmung der Abnahme des Schwingungsbogens
der Bifilarrolle des Dynamometers.

Schwingung No.	Schwingungsbogen	Logarithmen
0	131,69	2,1195528
78	55,83	1,7468676
100	43,87	1,6421676
139	28,17	1,4497868
178	18,36	1,2638727

Jede Horizontalzeile ist das Mittel aus sieben Beobachtungen, d. h. aus sieben Elongationen, genommen zu beiden Seiten der Gleichgewichtslage.

Durch gehörige Combinationen der Zahlen der dritten Columnne erhält man als mittleren Werth

$$\log e^{-\pi} = 9,9951815 - 10 = \log 0,98896645.$$

Da man bei diesen Beobachtungen für nicht mehr als ein Zehntel-Millimeter eintreten kann, so folgt daraus, daß man annehmen dürfe:

$$e^{-\pi} = 1,$$

sobald u_1 nicht 5 Millimeter überschreitet. Bei meinen Beobachtungen ging aber u_1 selten über ein Millimeter hinaus.

Es schien mir unnütz, das logarithmische Decrement für den Fall zu bestimmen, wo die Punkte a und g mit den Elektroden eines galvanischen Apparates verbunden sind.

16. Wünschend, daß bei diesen Versuchen die Kette unter möglichst identischen Umständen geschlossen und geöffnet werden möge, glaubte ich folgende Experimentirweise anwenden zu müssen.

Ich habe bei K , Fig. 3, Taf. V, den Unterbrecher angebracht, der von mir in diesen Annalen Bd. 97, S. 69 beschrieben ist, der aber hier anders functionirte. Er besteht hauptsächlich aus einem hufeisenförmigen Elektromagnet xx' und einem isolirten Hebel yy' . An einem Ende dieses Hebels ist eine kleine Eisenstange ww' horizontal befestigt, und das andere Ende desselben ist versehen mit

einem kleinen lothrechten Stift in Form eines Bleistiftes. Unterhalb dieses Stiftes befindet sich ein ganz ähnlicher, welcher befestigt ist an dem Ende einer Metallzunge, deren anderes Ende mittelst einer Schraube auf dem Brett des Instruments festsitzt. Diefes Ende ist mit einer Klemmschraube z versehen. Jeder Stift enthält einen Platindraht, deren einer als Amboss und der andere als Hammer dient. In α befindet sich ein Glasbecher mit Quecksilber, in welches ein Eisendraht taucht, der in β an den Metallhebel yy' gelöthet ist. Neben diesem Rheotom steht der Apparat O , der in Fig. 4, Taf. V für sich abgebildet ist. AB ist ein Brett, in welchem drei Gruben h , q und n ausgetieft sind, bestimmt zur Aufnahme von Quecksilber. In diese drei Gruben tauchen mit einem ihrer Enden die Kupferdrähte vh , af und il , die an ihren entgegengesetzten Enden mit den Klemmschrauben k_6 , k_8 und k_2 versehen sind. Ueberdies ist in das Brett ein Kupferdraht bcd eingelassen, an welchem die beiden Klemmschrauben k_1 und k_3 befestigt sind. An die Drähte ef und bcd sind zwei verticale, mit den Klemmschrauben k_3 und k_4 versehene Kupferdrähte gelöthet. tu ist ein hölzerner Hebel, dessen einer Arm durch die Springfeder C beständig von unten nach oben getrieben wird; derselbe Arm ist mit einer Schuur $\delta\epsilon$ versehen, welche der Experimentator mit dem Fusse anziehen kann, wenn der Hebel sich senken soll. Auf der oberen Seite des Hebels ist ein Kupferdraht mn eingelassen, versehen am Ende m mit einer Klemmschraube k_7 ; ein anderer Kupferdraht opq durchsetzt den Hebel; die beiden Drähte sind so vorgerichtet, daß, wenn der Hebel gesenkt wird, das Ende n eher in das Quecksilber taucht als der Contact zwischen den Enden des Drahtes oq und dem in den Gruben h und g befindlichen Quecksilber statthaben kann. Indefs ist der Zeitraum zwischen diesen beiden Contacten so klein wie möglich gemacht. Folgendes ist nun die Art, wie die beiden Rheotome K und O mit einander und mit den verschiedenen Theilen der übrigen Apparate verbunden waren.

Die Klemmschrauben k_1 und k_2 standen in Verbindung mit den Klemmschrauben i und h des Commutators D , Fig. 1, Taf. V. Die Klemmschraube k_3 trug einen Eisendraht, der in das Quecksilber des Napfes α tauchte. Ein Leiter J , dessen Widerstand gleich war demjenigen, den der inducirende Strom, wenn er einen Extrastrom erzeugte, außerhalb des Rheotoms O antraf, vereinigte die Klemmschrauben k_5 und k_6 . Zwei Leiter, die von den Klemmschrauben k_4 und z ausgingen, endigten in den Punkten a und g der Fig. 1, Taf. V.

In G befindet sich ein Elektromotor, alleinig bestimmt, den Rheotom K spielen zu lassen. Zu dem Ende steht der Draht, welcher den Elektromagnet xx' umgiebt, durch das eine Ende in Verbindung mit der Klemmschraube k_8 , durch das andere mit einer der Elektroden des Apparates G . Die zweite Elektrode ist mit der Klemmschraube k_7 verbunden.

Gesetzt nun, der Hebel des Rheotoms O sey noch nicht herabgezogen, befinde sich also in der Lage, welche Fig. 4, Taf. V abbildet. In diesem Fall ist offenbar die Kette, zu welcher der Elektromotor G gehört, in n unterbrochen. Der Elektromagnet xx' kann noch nicht auf den Eisenstab ww' wirken und es ist zwischen den beiden in y' vorhandenen Platindrähten Contact vorhanden. Ein von k_3 ausgehender Strom kann folglich in den verschiedenen Theilen des Apparates Fig. 1 umherkreisen, um durch g wieder in die Klemmschraube k_4 einzutreten. Diefs gesetzt, ziehe man den Hebel tu herab, und untersuche, was geschehen werde im Moment, da, in Fig. 4, das Ende des Drahts mn das in der Grube l befindliche Quecksilber berührt, bevor die beiden Enden des Drahtes opq in das Quecksilber der Gruben h und g tauchen. In diesem Moment ist der Strom des Apparates G geschlossen, und die Magnetkraft, welche der Elektromagnet xx' erlangt, zieht den Stab ww' herunter, wodurch das Contact zwischen den beiden in y befindlichen Platindrähten unterbrochen wird; folglich wird der inducirende Strom unterbrochen seyn und

der zweite Extrastrom wird auf die bewegliche Drahtrolle des Dynamometers wirken können. Klar ist, daß während des von uns betrachteten Moments der Strom des Elektromotors *A* nicht in dem Leiter *J* wird circuliren können, weil zwischen den beiden Gruben *h* und *q* keine metallische Verbindung besteht; allein dieser Moment hat nur eine sehr kurze Dauer, denn da der Hebel seine herabgehende Bewegung fortsetzt, so kommen die Enden des Drahts *opq* bald in Contact mit dem Quecksilber der Gruben *h* und *q*, und dadurch wird der Strom des Apparates *A* in den Stand gesetzt, den Leiter *J* zu durchlaufen. Sobald der Fuß des Beobachters die Schnur $\delta\epsilon$ verläßt, wird der Hebel durch die Sprungfeder *C* gehoben. Die in die Gruben *h*, *q* und *n* getauchten Drähte verlassen dieselben, aber es ist einleuchtend, daß die Verbindung zwischen den beiden Gruben *h* und *q* eher unterbrochen seyn wird als die, welche zwischen der Grube *l* und dem Draht *mn* besteht. Es wird also noch einen, obwohl sehr kurzen Zeitraum geben, während dessen der Strom des Apparates *A* vollständig aufgehoben seyn wird. Sowie indess das Ende *n* die Grube *l* verläßt, findet sich der Strom des Elektromotors *G* unterbrochen. Der Elektromagnet *xx'* verliert seine Magnetkraft, der Stab *ww'* hört auf angezogen zu werden; und dadurch sinkt der in *y'* befindliche Hammer auf seinen Amboss hinab; folglich wird der inducirende Strom wiederhergestellt und man bekommt den ersten Extrastrom. Aus der eben gegebenen Darstellung geht hervor, daß es immer Momente giebt, während welcher die Wirkung des galvanischen Apparates *A* aufgehoben ist, und während welcher also die entstandene galvanische Polarisation abnehmen muß. Jedoch sind diese Intervalle sehr kurz, jedenfalls kürzer als die, während welcher die galvanische Wirkung unterbrochen wäre, wenn man sich bloß des in Fig. 2, Taf. V abgebildeten Commutators bedient hätte. Wir haben aber gesehen, daß während dieser letzteren Intervalle die galvanische Polarisation nicht merklich abnahm.

17. Die Inductionsrolle, deren ich mich bei diesen Versuchen bedient habe, ist die schon (9) angewandte.

Um endlich von den Intensitätsveränderungen des inducirenden Stromes unabhängig zu seyn, verglich ich die beim Schliessen der Kette erhaltene Ablenkung mit dem Mittel der beiden Ablenkungen, welche durch das Oeffnen des Stromes hervorgebracht wurden. Von diesen beiden Beobachtungen ging die erstere dem Oeffnen voraus, die zweite folgte dem Extrastrom, der durch das Schliessen des inducirenden Stromes erzeugt wurde. Da die Gleichgewichtslage der Drahtrolle nicht unverändert blieb, so war ich genöthigt, sie von Zeit zu Zeit zu bestimmen.

Folgende Resultate wurden erhalten, als die Drahtrolle keinen Eisenkern enthielt. Der inducirende Strom wurde von sechs Daniell'schen Elementen erzeugt.

No. 7.

Mittlere Lage des Gleichgewichtspunkts	Extrastrom erhalten durch:	Elongation vor dem Durchgang durch den Gleichgewichtspunkt	Beobachtete Elongation	Ablenkung	
				beobachtet	berichtigt
439,175	Oeffnen	439,5	437,7	1,47	1,15
	Schliessen	439,4	431,7	7,47	7,25
	Oeffnen	439,7	437,4	1,77	1,25
	Schliessen	439,5	437,4	1,75	1,4
439,15	Oeffnen	439,6	431,8	7,35	6,9
	Oeffnen	439,5	437,4	1,75	1,4
	Schliessen	439,4	431,9	7,25	7
	Oeffnen	439,6	437,7	1,45	1
	Schliessen	439,2	431,5	7,65	7,6
	Oeffnen	439,4	437,6	1,55	1,3
	Oeffnen	439,4	437,3	1,7	1,3
	Schliessen	439,5	431,4	7,6	7,1
439	Oeffnen	439,3	437,4	1,6	1,3
	Schliessen	439,3	432	7	6,7
	Oeffnen	439,4	437,3	1,7	1,3
	Schliessen	439,3	431,3	7,7	7,4
	Oeffnen	439,4	437,2	1,8	1,4

Man erhielt also folgende Resultate:

Ablenkungen

beim Oeffnen der Kette.	beim Schließen der Kette.
1,2	7,25
1,4	6,9
1,2	7
1,15	7,6
1,3	7,1
1,3	6,7
1,15	7,4
Mittel 1,24	7,14

Die eben gefundenen Zahlen zeigen, daß die beiden Gröfsen

$$\int_0^{\mathfrak{z}} i^2 dt \text{ und } \int_0^{\mathfrak{z}} i'^2 dt$$

nicht gleich sind, beweisen vielmehr, was ich, ich gestehe, weit entfernt war vorauszusehen, daß die erste Gröfse die zweite übertrifft. Im vorliegenden Fall haben wir:

$$\int_0^{\mathfrak{z}} i^2 di = 5,76 \int_0^{\mathfrak{z}} i'^2 dt$$

Könnten wir annehmen, daß die Intensität eines Extrastromes während seiner ganzen Dauer constant sey, so würden wir haben:

$$i \vartheta = i' \vartheta'$$

$$i^2 \vartheta = 5,76 i'^2 \vartheta'$$

also

$$i = 5,76 i'$$

und wir hätten bewiesen, daß, im Allgemeinen, *die Intensität des Extrastroms, welchen man durch Schließen des inducirenden Stroms erhält, viel größer ist als die Intensität des Extrastroms, der durch Oeffnen der Kette entsteht, während die Dauer dieser beiden Extraströme sich umgekehrt wie die Intensitäten verhalten.* Im vorliegenden Fall war der erste Extrastrom 5,76, stärker als der zweite, allein seine Dauer war um eben so viel kürzer.

18. Nachdem ich einen Eisenkern (15) in die Inductionsrolle gesteckt, erhielt ich mittelst des Stromes von vier

Daniell'schen Elementen die in nachstehender Tafel angegebenen Resultate.

No. 8.

Mittlere Lage des Gleichgewichtspunkts	Extrastrom erhalten durch:	Elongation vor dem Durchgang durch den Gleichgewichtspunkt	Beobachtete Elongation	Ablenkung		
				beobachtet	berichtigt	
Erste Reihe.						
438,41	{	Oeffnen	438,7	420,3	18,11	17,82
		Schliessen	439,1	355,1	83,31	83,62
		Oeffnen	438,8	420	18,41	18,02
		Schliessen	439,1	351	87,41	87,72
		Oeffnen	439	419,7	18,71	18,12
		Schliessen	439,1	376	62,41	61,72
		Oeffnen	439,1	419,2	19,21	18,52
		Schliessen	439,2	371	67,41	67,62
		Oeffnen	439,1	419,6	18,81	18,12
		Schliessen	439,2	374	74,41	67,62
		Oeffnen	439	419,6	18,81	18,02
		Schliessen	439,1	355	83,41	83,72
	Oeffnen	438,8	420	18,41	17,72	
Zweite Reihe.						
437,97	{	Oeffnen	438,3	420	17,97	17,64
		Schliessen	438,9	364,2	73,77	72,84
		Oeffnen	438,9	419,2	18,77	17,84
		Schliessen	438,8	376,8	61,17	60,34
		Oeffnen	438,7	419,7	18,27	17,44
		Schliessen	438,6	368,2	69,77	69,14
		Oeffnen	438,5	419,2	18,77	18,24
		Schliessen	438,4	375,8	62,17	61,74
	Oeffnen	438,1	419,7	18,27	18,14	

Wir erhielten also folgende Resultate:

Ablenkungen	
beim Oeffnen der Kette.	beim Schliessen der Kette.
Erste Reihe.	
17,92	83,62
18,07	87,72
18,32	61,72
18,32	67,62
18,07	67,62
17,87	83,72
Mittel 18,09	75,337

Ablenkungen	
beim Oeffnen der Kette.	beim Oeffnen der Kette.
Zweite Reihe.	
17,74	72,84
17,64	60,34
17,84	69,14
18,19	61,74
Mittel 17,85	66,01

Auf die Unterschiede, welche die Zahlen der zweiten Columnne darbieten, werde ich später zurückkommen. Obgleich sie beträchtlich sind, ist nichts desto weniger klar, dafs, *im Fall die Drahtrolle einen Eisenkern einschliesst, der Extrastrom, den man durch Schliessen des inducirenden Stroms erhält, eine viel grössere Intensität besitzt als der Extrastrom, welcher beim Oeffnen der Kette entsteht.* Das Verhältnifs dieser beiden Intensitäten war, im Mittel, bei der ersten Reihe 100:24, und bei der zweiten 100:27.

19. Die Aufgabe, deren experimentelle Lösung mich hierauf beschäftigt hat, ist diese: Wird die Elektrizitätsmenge, welche beim Oeffnen oder beim Schliessen einer Kette durch Induction in einem zu dieser Kette gehörigen Leiter in Bewegung geräth, modificirt, wenn der inducirende Strom zu gleicher Zeit einen inducirten Strom in einem benachbarten Leiter hervorruft.

Es leuchtet ein, dafs das Weber'sche Galvanometer, eingerichtet wie vorhin, mir eine Antwort auf diese Frage geben mufste.

Bei diesen Versuchen kreiste der inducirte Strom, dessen Einflufs auf den Extrastrom ich untersuchen wollte, in einer Inductionsrolle, gebildet von ungefähr achttausend Windungen eines Kupferdrahtes von einem Drittel-Millimeter im Durchmesser. Diese Drahtrolle umgab die inducirende Rolle, welche dieselbe war, die ich bei den vorübergehenden Versuchen gebrauchte. Das Schliessen der Inductionsrolle geschah durch einen Kupferdraht, dessen Widerstand als unendlich klein gegen diese Rolle betrachtet werden konnte.

Ich gebrauchte den Unterbrecher *K*, Fig. 3, Taf. V zum Oeffnen und Schliessen des inducirenden Stromes; allein, da ich den Apparat *O* noch nicht hatte anfertigen lassen, so schloß ich die Kette, in welcher sich der Elektromotor *G* befand, dadurch, daß ich zwei Metalldrähte, von denen der eine zum Elektromotor *G*, der andere zum Näpfchen α führte, mit einem ihrer Enden in ein Näpfchen voll Quecksilber tauchte. Ich unterbrach den Strom, indem ich die in das Quecksilber getauchten Drähte zu demselben herauszog. Ich brauche nicht zu sagen, daß bei dieser Einrichtung die durch das Schliessen des inducirenden Stromes erzeugten Extraströme den durch das Oeffnen des Stromes erregten Extraströmen überlegen seyn mußten. Dies ist jedoch kein Uebelstand, da wir bloß wissen wollen, ob die Elektrizitätsmenge, die durch ihre Bewegung den Extrastrom darstellt, sich ändert wenn man die (secundäre) Inductionsrolle schließt, d. h. sie so vorrichtet, daß ein Inductionsstrom in ihr circuliren kann.

Folgende Tafel enthält die Resultate, welche ich mit einem inducirenden Strom, hervorgebracht von drei Daniell'schen Elementen, erhielt. Die Drahtrolle enthielt keinen Eisenkern.

No. 9.

Stromrichtung	Secundäre Drahtrolle	Gleichgewichtslage bei offener Kette	Aus Schlag beim Schliessen	Gleichgewichtslagen bei geschlossener Kette		Aus Schlag beim Oeffnen	Gleichgewichtslage bei offener Kette	Berichtigter Aus Schlag beim	
								Schlies- sen	Oeff- nen
+	Offen	499,8	526,2	499,9	500,0	472,3	499,5	26,4	27,5
++	Geschlossen	499,5	526,8	501	501,2	473,2	499,4	26,6	27,2
++	Offen	499,4	527,2	502,3	502,5	474	499,5	26,5	27,1
-	Offen	499,3	471,8	500	499,9	526,3	498,8	27,8	27,4
-	Geschlossen	498,5	470,5	498,8	498,5	525,1	498,3	28,1	26,7
-	Offen	498,7	470	498	497,7	525	498,6	28,2	26,9
+	Geschlossen	498,6	525	498,9	499	472,3	498,4	26,3	26,4
++	Offen	498,4	525,3	500	500,4	473	498,1	26,2	26,3
++	Geschlossen	498,1	525,8	501	501	473	498	26,4	26,6

Stromrichtung	Secundäre Drahtrolle	Gleichgewichtslage bei offener Kette	Ausschlag beim Schließen	Gleichgewichtslagen bei geschlossener Kette		Ausschlag beim Öffnen	Gleichgewichtslage bei offener Kette	Berichtigter Ausschlag beim	
								Schließen	Öffnen
—	Geschlossen	497,9	470,7	499	498,4	524,4	497,7	27,7	26,3
—	Offen	497,7	470,2	497	496,8	523,2	497,4	27,2	26,1
—	Geschlossen	497,3	469	495	494,8	522,2	497,2	27,2	26,3
+	Offen	496,7	521,2	494,9	493,4	470	496,7	25,3	26
+	Geschlossen	496,7	522,9	497,3	497,6	471	496,5	25,9	26,1
+	Offen	496,5	523	497,9	498	471,1	496	25,9	26
—	Offen	495,9	469,1	498	498	523,2	495,8	27,8	26,2
—	Geschlossen	495,8	469	497,8	497,3	523,1	495,6	27,7	26,6
—	Offen	495,6	468	495,9	495,7	522,9	495,9	27,7	26,9
+	Geschlossen	495,8	522,2	495,7	496,0	469,0	495,7	26,4	26,9
+	Offen	495,6	522,2	496,8	497,1	470,0	496,2	26,1	26,7
+	Geschlossen	496,0	523,1	497,7	497,8	470,0	495,8	26,3	26,9
—	Geschlossen	495,8	467,0	494,2	494,0	521,9	495,9	28,1	27,0
—	Offen	495,9	466,8	493,2	493,0	521,0	495,8	27,9	26,7
—	Geschlossen	495,7	467,0	491,5	491,3	519,9	495,4	26,7	26,7
+	Offen	495,3	521,8	495,3	495,3	468,8	495,2	26,5	26,5
+	Geschlossen	495,2	521,9	495	495,0	468,8	495,0	26,8	26,2
+	Offen	495,0	521,6	495,4	495,5	468,8	495,1	26,4	26,5
—	Offen	495,0	467,8	496,1	496,0	522,1	495,0	27,7	26,6
—	Geschlossen	495,0	467,1	495,2	495,2	521,8	494,8	28,0	26,8
—	Offen	494,8	466,8	494,9	494,7	521,3	494,7	28,0	26,6
+	Geschlossen	494,8	521,7	495,6	495,5	468,3	494,7	26,5	26,8
+	Offen	494,7	521,3	495	495,0	468,1	494,8	26,5	26,8
+	Geschlossen	494,8	521,0	495,5	495,6	468,7	494,7	25,9	26,5
—	Geschlossen	494,7	466,8	494,8	494,8	521,3	494,8	27,9	26,5
—	Offen	494,8	466,9	494,4	494,4	521,6	495,0	27,7	26,9
—	Geschlossen	495,0	466,8	494	493,8	521,1	495,2	27,7	26,7
+	Offen	496,0	522,8	497	497,1	469,4	496,0	26,3	26,7
+	Geschlossen	496,0	523,0	497,9	498,0	470,5	496,0	26,1	26,6
+	Offen	496,0	523,8	498,5	498,5	470,4	496,0	26,0	26,9
—	Offen	496,0	467,8	495,6	495,6	522,8	496,0	28,0	27,0
—	Geschlossen	496,2	468,1	496,1	496,1	523,0	496,1	28,1	26,9
—	Offen	496,1	468,1	495,9	495,8	522,9	496,1	27,9	27,0
+	Geschlossen	496,1	523,2	497,6	497,7	470,2	496,2	26,4	26,8
+	Offen	496,2	523,6	497,8	497,8	470,1	496,4	26,7	27,1
+	Geschlossen	496,4	523,8	498,8	498,7	470,8	496,7	26,3	27,0
—	Geschlossen	496,8	468,0	495,5	495,4	522,8	497,0	28,2	26,7
—	Offen	497,0	468,0	494,9	494,8	522,5	497,1	28,0	26,6
—	Geschlossen	497,1	468,0	494,5	494,3	522,3	497,0	27,9	26,8
+	Offen	495,3	521,6	494,9	495,2	468,7	495,4	26,5	26,6
+	Geschlossen	495,4	522,8	497,8	498,2	470	495,4	26,3	26,9
+	Offen	495,4	523,9	499,9	500,0	471	495,8	26,4	27,0
—	Offen	495,8	468	496,1	496,0	522,8	495,9	27,9	26,8
—	Geschlossen	495,9	467,8	495,0	495,0	522,2	496,0	27,7	26,7
—	Offen	496,0	467,1	494,2	494,2	522,0	496,0	28,1	27,0

Stromrichtung	Secundäre Drahtrolle	Gleichgewichtslage bei offener Kette	Ausschlag beim Schließen	Gleichgewichtslage bei geschlossener Kette		Ausschlag beim Öffnen	Gleichgewichtslage bei offener Kette	Berichtigter Ausschlag beim	
								Schließen	Öffnen
+	Geschlossen	496,2	524,6	500,0	500,0	471,3	496,2	26,6	26,9
+	Offen	496,2	524,8	500,2	500,2	471,8	496,6	26,7	26,7
+	Geschlossen	496,6	525,7	501,7	502,0	472,1	496,4	26,7	27,3
—	Geschlossen	497,4	470,2	499,5	499,2	525,4	497,2	28,1	27,1
—	Offen	497,3	470,2	500,0	500,0	525,8	497,2	28,3	27,1
—	Geschlossen	497,2	470,1	499,7	499,5	525,8	497,2	28,2	27,3
+	Offen	497,2	523,2	496,3	496,4	469,8	497,0	26,4	26,9
+	Geschlossen	497,0	522,9	496,0	496,0	469,8	497,0	26,4	26,7
+	Offen	497,0	522,9	496,0	496,0	469,5	496,9	26,4	26,9
—	Offen	496,9	469,9	499,2	499,0	525,0	496,9	28	26,9
—	Geschlossen	496,9	469,2	498,1	498,0	524,2	496,7	28,2	26,8
—	Offen	496,7	469,1	498,0	498,0	524,3	496,6	28,2	26,9
+	Geschlossen	496,6	522,9	496,3	496,6	469,9	496,8	26,4	26,8
+	Offen	496,8	523,2	497,0	497,1	470,1	496,8	26,3	26,9
+	Geschlossen	496,8	523,9	497,6	497,7	470,2	497,0	26,7	27,2
—	Geschlossen	497,0	469,3	497,9	497,9	524,2	497,1	28,1	26,7
—	Offen	497,1	469,5	497,7	497,7	524,2	497,1	27,9	26,8
—	Geschlossen	497,1	469,0	497,4	497,4	524,2	497,1	28,2	26,9

Die erhaltenen Resultate lassen sich folgendermaßen ordnen:

No. 10.

Ausschlag als die Stromrichtung war
 Positiv | Negativ
 beim

Schließen | Öffnen | Schließen | Öffnen
 als die secundäre Drahtrolle war

offen	geschloss.	offen	geschloss.	offen	geschloss.	offen	geschloss.
26,45	26,6	27,3	27,2	28,0	28,1	27,15	26,7
26,2	26,35	26,3	26,5	27,2	27,45	26,1	26,3
25,6	25,9	26,0	26,1	27,75	27,7	26,55	26,6
26,1	26,35	26,7	26,9	27,9	27,4	26,7	26,85
26,45	26,8	26,5	26,2	27,85	28,0	26,6	26,8
26,5	26,2	26,8	26,65	27,7	27,8	26,9	26,6
26,15	26,1	26,8	26,6	27,95	28,0	27	26,9
26,7	26,35	27,1	26,9	28,0	28,05	26,6	26,75
26,45	26,3	26,9	26,9	28,0	27,7	26,9	26,7
26,7	26,65	26,7	27,15	28,3	28,15	27,1	27,2
26,4	26,4	26,9	26,7	28,1	28,2	26,9	26,8
26,3	26,55	26,9	27	27,9	28,15	26,8	26,8
26,33	26,38	26,74	26,73	27,89	27,91	26,77	26,75

Beim Oeffnen der Kette war demnach die durch den Extrastrom bewirkte Ablenkung, als die secundäre Drahtrolle offen war:

Strom, positiv	26,74
Strom, negativ	26,77
Mittel	<u>26,75</u>

als sie geschlossen war:

Strom, positiv	26,73
Strom, negativ	26,77
Mittel	<u>26,75.</u>

Beim Schliessen der Kette war die Ablenkung:
Secundäre Drahtrolle offen:

Strom, positiv	26,33
Strom, negativ	27,89
Mittel	<u>27,11.</u>

Secundäre Drahtrolle geschlossen:

Strom, positiv	26,38
Strom, negativ	27,91
Mittel	<u>27,095.</u>

Die Zahlen 26,75 und 26,75 sind gleich, und da der Unterschied zwischen den Zahlen 27,11 und 27,095 innerhalb der Beobachtungsfehler liegt, kann man sie auch als gleich betrachten. Es folgt also, *daß die Elektrizitätsmenge, welche beim Oeffnen und Schliessen einer Kette durch Induction in einem zu dieser Kette gehörenden Leiter in Bewegung geräth, durchaus nicht abgeändert wird, wenn der inducirende Strom zugleich in einem benachbarten Leiter einen inducirten Strom erregt.*

20. Es blieb zu wissen, ob das eben aufgestellte Gesetz noch richtig wäre, für den Fall, wo der inducirende Strom eine magnetisirende Wirkung ausübte. Zu dem Ende steckte ich einen Eisenkern (15) in die Inductionsrolle. Als ich den Strom eines äußerst kleinen und sehr schwach geladenen Daniell'schen Elementes anwandte, fand ich die in nachstehender Tafel verzeichneten Resultate.

No. 11.

Stromrichtung	Secundäre Drahtrolle	Gleichgewichtslage bei offener Kette	Ausschlag beim Schließen	Gleichgewichtslage bei geschlossener Kette 1)	Ausschlag beim Öffnen	Gleichgewichtslage bei offener Kette	Berichtigter Ausschlag beim	
							Schlie- ßen	Öff- nen
++	Offen	499,8	520,7	499,7	478,9	500,0	20,9	20,9
++	Geschlossen	500,0	520,9	499,8	478,9	499,8	21,0	20,9
++	Offen	499,7	520,8	499,9	478,9	500,0	21,0	21,0
+-	Offen	500	478,8	499,0	520,1	500,0	20,8	20,7
+-	Geschlossen	500,2	478,8	499,2	520,4	500,2	21,0	20,8
+-	Offen	500,2	479,0	499,3	520,6	500,3	20,8	20,9
++	Geschlossen	500,5	521,6	501,2	480,2	501,4	20,8	21
++	Offen	501,3	522,2	501,2	480,1	501,3	20,9	21,1
++	Geschlossen	501,1	522,2	501,1	480,0	501,1	21,1	21,1
+-	Geschlossen	501,0	479,7	499,9	521,0	501,0	20,8	20,6
+-	Offen	501,0	479,4	499,8	521,0	501,0	21,1	20,7
+-	Geschlossen	501,0	479,6	499,8	521,1	501,0	20,9	20,8
++	Offen	501,0	522,0	500,3	479,1	500,7	21,3	21,4
++	Geschlossen	500,8	521,9	500,9	479,8	500,7	21,1	21,0
++	Offen	500,8	522,0	501,0	479,9	500,8	21,1	21,0
+-	Offen	500,8	479,2	499,3	520,8	500,7	20,9	20,9
+-	Geschlossen	500,8	479,2	499,3	520,9	501	20,9	20,8
+-	Offen	501	479,3	500	521,4	501,7	21,2	20,6
++	Geschlossen	501,2	522,8	501,7	480,2	501,1	21,4	21,2
++	Offen	501,1	522,5	501,8	480,2	501,3	21,1	21,4
++	Geschlossen	501,3	522,7	501,8	480,3	501,3	21,2	21,3
+-	Geschlossen	501,5	479,8	500,0	521,3	501,6	21,0	20,6
+-	Offen	501,6	479,9	500,0	521,4	501,6	21,0	20,7
+-	Geschlossen	501,6	479,8	499,8	521,2	501,6	21,0	20,6
++	Offen	501,8	523,1	502,5	481,0	501,8	21,0	21,2
++	Geschlossen	501,7	523,0	502,2	480,9	501,4	21,1	20,9
++	Offen	501,4	522,9	502,1	480,6	501,4	21,2	21,2
+-	Offen	501,7	479,8	499,6	521,2	501,9	20,9	20,5
+-	Geschlossen	501,9	480,0	499,9	521,7	502,0	21,2	20,8
+-	Offen	502,0	480,0	500,0	521,8	502,1	21,1	20,8
++	Geschlossen	502,9	524,1	503,0	481,9	503,0	21,2	21,1
++	Offen	502,9	524,0	503,1	482,0	503,0	21,0	21,1
++	Geschlossen	503,1	524,4	503,3	482,0	503,1	21,2	21,2
+-	Geschlossen	503,4	481,9	502,1	523,8	503,7	20,9	21,0
+-	Offen	503,8	482,1	502,2	523,9	503,8	21,0	21,0
-	Geschlossen	503,8	482,1	502,1	523,9	503,9	20,9	21,0

1) Da der inducirende Strom sehr schwach war, so waren die Temperaturveränderungen, welche die verschiedenen Theile der Kette erlitten, so gering, daß die Gleichgewichtslage sich nicht merklich verschob, als der Strom dieselben durchlief.

Die erhaltenen Resultate können folgendermaßen zusammengestellt werden:

No. 12.

Ausschlag als die Stromrichtung war							
positiv				negativ			
beim							
Schließen		Öffnen		Schließen		Öffnen	
als die secundäre Drahtrolle war							
offen	geschlossen.	offen	geschlossen.	offen	geschlossen.	offen	geschlossen.
20,95	21	20,95	20,9	20,8	21	20,8	20,8
20,95	20,9	21,05	21,1	20,85	21,1	20,7	20,7
21,2	21,1	21,2	21	21,05	20,9	20,75	20,8
21,3	21,1	21,25	21,4	21	21	20,6	20,7
21,1	21,1	21,2	20,9	21	21,2	20,65	20,8
21,2	21	21,15	21,1	20,9	21	21	21
21,12	21,03	21,13	21,07	20,93	21,03	20,75	0,8

Beim Öffnen der Kette war demnach die durch den Extrastrom bewirkte Ablenkung:

Secundäre Drahtrolle offen:

Strom, positiv 26,13

Strom, negativ 20,75

Mittel 20,94.

Secundäre Drahtrolle geschlossen:

Strom, positiv 21,07

Strom, negativ 20,8

Mittel 20,93.

Beim Schließen der Kette war die Ablenkung:

Secundäre Drahtrolle offen:

Strom, positiv 21,12

Strom, negativ 20,93

Mittel 21,02.

Secundäre Drahtrolle geschlossen:

Strom, positiv 21,03

Strom, negativ 21,03

Mittel 21,03.

Die Zahlen 20,94 und 20,93, so wie 21,02 und 21,03 weichen so wenig von einander ab, daß man sie als gleich

betrachten, und folglich annehmen kann, *dafs, wenn ein Leiter so gestaltet ist, dafs er eine Masse weichen Eisens zu magnetisiren vermag, die Elektrizitätsmasse, welche durch Induction beim Schliessen und Oeffnen einer Kette, zu welcher dieser Leiter gehört, in Bewegung geräth, nicht modificirt wird, wenn der inducirende Strom zugleich in einem benachbarten Leiter einen inducirten Strom hervorruft.*

21. Wenn die Ablenkungen eine gewisse Gränze überschreiten, sind sie bekanntlich nicht mehr proportional den Impulsen, durch welche sie hervorgebracht wurden. Ueberdies haben wir gesehen (7), dafs es für das von mir gebrauchte Galvanometer einen besonderen Beweggrund gab, Ablenkungen über 30^{mm} nicht zu beobachten. Wenn es sich aber, wie im gegenwärtigen Fall, blofs darum handelt, fest zu stellen, ob Ablenkungen *auf derselben Seite von der Gleichgewichtslage* gleich seyen, so influenciren die Fehler, welche man durch Beobachten grösserer Ablenkungen begeht, in gleicher Weise auf jede der Grössen, die man vergleicht. Sie können daher auf das Endresultat keinen Einflufs haben. Die für die Formel (II) gegebene Berichtigung setzt freilich auch voraus, dafs die Ablenkungen ziemlich klein seyen; indess sind die Fehler, welche man begeht, wenn man sie auf bedeutende Ablenkungen anwendet, nicht merklich, weil man, wie man sehen wird, mit grossen Ablenkungen Resultate bekommt, die mit den eben gefundenen identisch sind. In der That erhielt ich, als ich das kleine Daniell'sche Element des vorstehenden Versuches ersetzte durch zwei gewöhnliche Daniell'sche Elemente, die in der folgenden Tafel angegebenen Resultate.

No. 13.

Stromrichtung	Secundäre Drahtrolle	Gleichgewichtslage bei offener Kette	Ausschlag beim Schließen	Gleichge- wichtslage bei geschlossener Kette		Ausschlag beim Öffnen	Gleichgewichtslage bei offener Kette	Berichtigter Ausschlag beim	
								Schlie- ßen	Oeff- nen
+	Offen	513,8	807,0	507,2	507,3	209,1	513,7	296,3	301,1
+	Geschlossen	513,8	807,3	508,5	508,7	210,5	513,8	295,9	300,5
+	Offen	513,8	807,8	509,9	509,9	211,8	513,9	295,8	299,9
-	Offen	514,1	207,0	517,2	517,2	815,2	514,0	308,5	299,5
-	Geschlossen	514,1	207,0	516,7	516,8	814,0	514,0	308,3	298,5
-	Offen	514,0	207,2	516,9	516,8	814,0	514,0	308,1	298,5
+	Geschlossen	514,0	805,7	512,3	512,4	217,0	514,0	292,5	296,1
+	Offen	514,1	805,1	510,8	510,8	215,8	514,0	292,5	296,5
+	Geschlossen	514,2	805,0	510,9	511,0	216	514,0	292,3	296,4
-	Geschlossen	514,2	210,0	517,8	517,9	812,5	514,3	305,8	296,2
-	Offen	514,3	210,8	518,0	518,0	812,7	514,4	305,2	296,3
-	Geschlossen	514,5	210,1	517,5	517,8	812,8	514,6	305,8	296,5
+	Offen	514,8	804,5	512,7	512,7	219,0	514,8	290,7	294,7
+	Geschlossen	514,8	804,1	513,5	513,5	220,0	514,8	289,9	294,1
+	Offen	514,8	804,2	513,9	513,9	220,2	514,8	289,8	294,1
-	Offen	514,8	212,1	516,2	516,2	809,7	514,9	303,3	294,1
-	Geschlossen	514,9	212,1	516,0	516,0	809,8	514,9	303,3	294,3
-	Offen	514,9	211,8	515,2	515,1	809,8	514,9	303,2	294,8
+	Geschlossen	514,8	805,3	514,0	514	220,8	514,9	290,9	293,6
+	Offen	514,9	805,2	514,0	513,9	220,5	514,9	290,7	293,8
+	Geschlossen	516,8	806,2	513,0	513,2	219,8	514,9	291,1	294,2
-	Geschlossen	515,0	214,0	517,0	517,3	808,8	515	301,9	292,5
-	Offen	515,0	213,8	517,5	517,2	810,0	515,2	302,4	293,7
-	Geschlossen	515,2	214,1	517,3	517,3	809,2	515,2	302,1	292,9
+	Offen	515,0	803,2	515,0	515,2	223	514,9	288,2	292,1
+	Geschlossen	514,9	803,9	515,6	515,7	222,7	514,9	288,7	292,6
+	Offen	514,9	804,5	515,7	515,7	222,1	514,8	289,2	293,2
-	Offen	514,9	211,8	514,7	514,7	808,8	515,1	303	293,9
-	Geschlossen	520,3	217,5	518,0	517,5	812,5	520,3	301,7	293,7
-	Offen	520,2	216,8	518,0	518,1	813,0	520,2	302,4	293,9
+	Geschlossen	520,2	809,8	522,3	522,2	229,3	520,1	288,6	291,9
+	Offen	520,2	809,0	522,3	522,6	230,0	520,1	287,8	291,5
+	Geschlossen	520,2	809,8	523,5	523,9	231,0	520,9	288,1	291,5
-	Geschlossen	521,0	217,0	517,3	517,0	812,0	521,0	302,3	293,2
-	Offen	521,0	217,0	516	515,7	811,1	521,0	301,7	293,7
-	Geschlossen	521,0	215,1	514,7	514,4	810,5	521,0	303,0	293,1

No. 13a.

Ausschlag als die Stromrichtung war
 positiv | negativ
 |
 beim

Schließen		Öffnen		Schließen		Öffnen	
als die secundäre Drahtrolle war							
offen	geschlossen	offen	geschlossen.	offen	geschlossen.	offen	geschlossen.
296,05	295,9	300,5	300,5	308,3	308,3	299	298,5
292,5	292,4	296,5	296,25	305,2	305,8	296,3	296,25
290,25	289,9	294,4	294,1	303,25	303,3	294,45	294,3
290,7	291	293,8	293,9	302,4	302	293,7	292,7
288,7	288,7	292,65	292,6	302,7	301,7	293,9	293,7
287,8	288,35	291,5	291,7	301,7	302,65	293,7	293,15
291,0	291,04	294,89	294,84	303,92	303,96	295,18	294,78

Beim Öffnen der Kette war also die durch den Extrastrom bewirkte Ablenkung:

Secundäre Drahtrolle offen:

Strom, positiv 294,89

Strom, negativ 295,18

Mittel 295,03.

Secundäre Drahtrolle geschlossen:

Strom, positiv 294,84

Strom, negativ 294,78

Mittel 294,81.

Beim Schließen der Kette erzeugte der Extrastrom die Ablenkung:

Secundäre Drahtrolle offen:

Strom, positiv 291

Strom, negativ 303,92

Mittel 297,46.

Secundäre Drahtrolle geschlossen:

Strom, positiv 291,04

Strom, negativ 303,96

Mittel 297,5.

Die Zahlen 297,46 und 297,5 können als gleich betrachtet werden, und was den Unterschied der Zahlen 295,03 und 294,81 betrifft, so liegt er nicht nur unterhalb der Beobachtungsfehler, sondern erklärt sich auch durch die

ungünstigen Umstände, unter welchen die Beobachtungen angestellt wurden. Die Magnethadel ward nämlich sichtlich afficirt durch Eisenmassen, welche Handwerker, die in der Umgebung des Laboratoriums arbeiteten, von Zeit zu Zeit verschoben. Wie dem auch sey, so glaube ich doch, die eben gefundenen Resultate liefern den Beweis, daß unter gewissen Umständen selbst grofse Ablenkungen genaue Resultate geben können.

22. Da der Widerstand der secundären Drahtrolle sehr beträchtlich war, so hielt ich es nicht für ganz überflüssig, die vorstehenden Resultate unter anderen Bedingungen zu wiederholen, d. h. mit Anwendung einer secundären Drahtrolle von viel kleinerem Widerstande. Zu dem Ende nahm ich eine Drahtrolle, bestehend aus einem hohlen Holzcyylinder von 0^m,158 Höhe und 0^m,066 äufserem Durchmesser, auf welchen drei hinreichend isolirte Kupferdrähte von 3^{mm} Durchmesser aufgewickelt waren. Jeder Draht bildete zwei Lagen. Zwei dieser Drähte vereinigte ich so, daß sie als inducirende Rolle dienten; der dritte Draht, der äufsere, bildete die secundäre Rolle. Das Schließen dieser Rolle geschah durch einen Kupferdraht von 0^m,2 Länge und 2^{mm} Durchmesser.

Für die neue Drahtrolle mußte man offenbar die Constanten der Correctionsformel (III) berechnen und zu dem Ende den Werth des logarithmischen Decrements bestimmen. Ich fand, indem ich wie vorhin (9) verfuhr, daß

$$e^{-\lambda T} = 0,1592,$$

und daß die Gleichung (III) wurde:

$$h = \sqrt{m} e^{0,682 \lambda T} \left(u + 0,5916 x - 0,0598 \frac{x^2}{u} \right) \dots \text{(VII)}$$

Indem ich einen inducirenden Strom, erzeugt von zwei Daniell'schen Elementen anwandte, erhielt ich folgende Resultate.

No. 14.

Stromrichtung	Secundäre Drahtspirale	Gleichgewichtslage bei offener Kette	Ausschlag beim Schließen	Gleichge- wichtslage bei geschlossener Kette		Ausschlag beim Öffnen	Gleichgewichtslage bei offener Kette	Berichtigter Ausschlag beim	
								Schlie- ßen	Oeff- nen
+	Offen	490,8	509,2	488,9	489,0	470,8	490,3	19	18,7
+	Geschlossen	491,7	510,3	490,9	490,9	472,1	491,8	18,9	19,2
+	Offen	490,9	511,8	494,6	494,2	473,7	491,0	19,3	19,2
+	Geschlossen	490,2	509,7	491,2	491,6	471,9	491,1	19,1	19,5
+	Offen	491,5	510,7	491,3	491,4	472,3	491,9	19,3	19,3
+	Geschlossen	492,4	512,0	493,7	493,7	473,8	492,7	19,1	19,5
+	Offen	492,4	512,1	492,9	492,2	472,8	491,1	19,5	18,9
+	Geschlossen	491,3	511,0	491,8	491,4	472	490,7	19,5	19,1
+	Offen	490,7	510,7	491,9	491,9	471,9	490,5	19,5	19,4
+	Geschlossen	490,2	510,3	491,7	491,7	471,7	489,8	19,5	19,3
+	Offen	489,7	510,3	492,7	492,8	472	489,9	19,3	19,6
+	Geschlossen	489,6	510,3	492,1	492,1	471,2	489	19,7	19,6
+	Offen	488,9	507,5	488,0	488,1	469,3	489,2	19,0	19,2
+	Geschlossen	488,8	506	484,0	481,8	465	488,4	19,1	19,4
+	Offen	484,3	503,9	486,0	485,9	466,2	484,7	18,9	19,2
+	Geschlossen	485,3	506	489,1	489,0	468	485,1	19,1	19,3
+	Offen	484,6	505,9	489,7	489,7	468,3	485,5	19,1	19,6
—	Geschlossen	486,1	467,7	488,9	489,3	507,3	488,0	19,5	18,5
—	Offen	488,3	468,2	487,5	487,6	507,3	489,2	19,8	19
—	Geschlossen	490,2	469,0	487,7	487,7	568,3	490,7	20,2	19,3
—	Offen	490,9	469,1	486,8	486,9	508,1	491,4	20,1	29,3
—	Geschlossen	491,3	469,0	485,9	485,8	507,2	490,3	20,3	29,5
—	Offen	491,3	470,0	488,2	488,1	508,8	490,9	20,0	19,5
—	Geschlossen	491,3	470,7	489,5	489,4	509,8	491,7	19,9	19,4
—	Geschlossen	496,8	477,1	497,0	497	515,5	496,9	19,8	18,5
—	Offen	497,1	477,2	497,2	497,2	516,3	496,9	19,9	19,2
—	Geschlossen	497,2	476,7	496,2	496,2	516,0	497,5	20,1	19,3
—	Offen	497,9	476,6	495,4	495,7	516,2	498,2	20,3	19,5
—	Geschlossen	499,2	478,2	497,0	497,3	517,8	500,2	20,1	19,3
—	Offen	500,6	478,8	497,2	497,9	518,7	501,0	20,4	19,5
—	Geschlossen	501,0	479,3	497,6	497,7	518,3	500,8	20,3	19,3
—	Offen	500,7	478,1	498,0	498,3	519,1	501,0	21,5	19,7
—	Geschlossen	501,1	478,7	496,7	496,8	518,0	500,4	20,5	19,7
—	Offen	500,3	478,8	497,6	497,6	518,0	499,8	20,4	19,5
—	Geschlossen	499,7	478,2	497,7	497,7	517,8	499,1	20,7	19,5

Wir haben also gefunden:

No. 15.

Ausschlag als die Stromrichtung war							
positiv				negativ			
beim							
Schließen		Öffnen		Schließen		Öffnen	
als die sekundäre Drahtrolle war:							
Offen	Geschloss.	Offen	Geschloss.	Offen	Geschloss.	Offen	Geschloss.
19,15	18,9	18,95	19,2	19,8	19,85	19	18,9
19,3	19,1	19,25	19,5	20,1	20,25	19,3	19,4
19,4	19,1	19,05	19,5	20	20,05	19,5	19,45
19,5	19,5	19,15	19,1	19,9	19,95	19,2	18,9
19,4	19,5	19,5	19,3	20,3	20,1	19,5	19,3
19,15	19,7	19,4	19,6	20,4	20,2	19,5	19,3
18,95	19,1	19,2	19,4	21,5	20,4	19,7	19,5
19,0	19,1	19,4	19,3	20,4	20,6	19,5	19,6
19,23	19,25	19,24	19,36	20,3	20,18	19,4	19,29

Beim Öffnen des Stromes war demnach die durch den Extrastrom bewirkte Ablenkung:

Secundäre Drahtrolle offen:

Strom, positiv 19,24

Strom, negativ 19,4

Mittel 19,32.

Secundäre Drahtrolle geschlossen:

Strom, positiv 19,36

Strom, negativ 19,29

Mittel 19,32

Beim Schließen der Kette erzeugte der Extrastrom die Ablenkung:

Secundäre Drahtrolle offen:

Strom, positiv 19,23

Strom, negativ 20,3

Mittel 19,76.

Secundäre Drahtrolle geschlossen.

Strom, positiv	19,25
Strom, negativ	20,18
Mittel	19,71.

Die Zahlen 19,32 und 19,32 sind gleich, und bei den Zahlen 19,76 und 19,71 ist der Unterschied so klein, daß man sie ebenfalls als gleich betrachten kann.

23. Bei den folgenden Versuchen enthielt die Drahtrolle einen Eisenkern, bestehend aus einem Bündel zweckmäßig isolirter 2^{mm} dicker Eisendrähte. Das Bündel hielt 0^m,2 in Länge und 0^m,023 im Durchmesser. Die secundäre Drahtrolle hatte einen Widerstand, welcher gegen den der inducirenden Drahtrolle als unendlich klein betrachtet werden konnte. Sie bestand aus einem hohlen Kupfercylinder von 0^m,183 Länge. Der innere Durchmesser war gleich 0^m,034. Die Wanddicke betrug ein Millimeter. Dieser Cylinder konnte in die primäre Drahtrolle gesteckt werden, und hüllte alsdann den Eisenkern ein. Was die primäre Drahtrolle betrifft, so war es die der vorhergehenden Versuche (21), nur anders vorgerichtet: die drei Drähte waren so verbunden, daß sie einen einzigen ausmachten, der folglich sechs Lagen bildete. Ich bestimmte den Werth, welchen $e^{-\pi x}$ bei dieser Vorrichtung der Inductionsrolle annehmen würde, und fand ihn gleich

$$0,1653.$$

Dadurch wurde die Gleichung (III)

$$h = \sqrt{m} \cdot e^{0,8355 \pi x} \left(u + 0,5873 x - 0,0636 \frac{x^2}{u} \right) \quad (\text{VIII})$$

Die Versuche wurden nach der in (11) beschriebenen Methode angestellt. Den inducirenden Strom lieferte ein Daniell'sches Element.

No. 16.

Stromrichtung	Cylinder:	Gleichgewichtslage bei offener Kette	Ausschlag beim Schließen	Gleichgewichtslage bei geschlossener Kette		Ausschlag beim Öffnen	Gleichgewichtslage bei offener Kette	Berichtigter Ausschlag beim	
								Schließen	Öffnen
+	anwesend	498,7	557,2	497	497,1	437,8	498,7	59,2	60
+	fort	498,5	557	497,2	497,2	437,8	498,2	59	59,8
+	anwesend	498,2	557	497,2	497,2	437,8	498,2	59,2	59,8
+	fort	498,1	557	497,2	497,2	438	498,1	59,3	59,6
+	anwesend	497,7	556	496,8	496,8	437,3	497,8	58,7	59,9
+	fort	497,8	556,3	497,4	497,4	438	498	58,7	59,65
+	anwesend	498,1	556,3	497,7	497,7	438,3	497,9	58,4	59,5
+	fort	497,9	556,7	497,7	497,7	438,2	497,9	58,9	59,6
+	anwesend	497,9	556,3	497,7	497,7	438,2	497,5	58,5	59,4
+	fort	497,6	556	497,4	497,3	438	497,1	58,5	59,3
+	anwesend	497,1	555,9	497,3	497,2	437,8	497	58,7	59,3
+	anwesend	496,9	555	495,9	495,9	437,1	497,1	58,6	59,3
+	fort	497,2	555,7	496,1	496,2	437,2	497,4	59	59,5
+	anwesend	497,4	555,5	496	495,9	437,2	497,4	58,7	59,3
+	fort	497,6	555,7	496,1	495,9	437,1	497,4	58,7	59,4
+	anwesend	497,3	555,6	496	495,9	437,2	497,6	58,8	59,4
+	fort	497,7	555,7	496,2	496,1	437,3	497,5	58,6	59,4
+	anwesend	497,4	555,7	495,7	495,7	437	497,1	59	59,3
—	fort	497,3	437,8	498,8	498,8	557,8	497,6	60,1	59,5
—	anwesend	497,7	437,9	498,7	498,7	557,8	497,4	60,2	59,6
—	fort	497,3	437,8	498,9	499,1	558,2	497,8	60,2	59,6
—	anwesend	497,7	438,1	499	498,9	557,8	497,6	60,1	59,4
—	fort	497,6	437,7	498,9	498,9	558	497,4	60,4	59,7
—	anwesend	497,4	437,2	498,6	498,7	558	497,3	60,7	59,9
—	fort	497,4	437,7	498,1	498,2	557,5	497	60	59,8
—	anwesend	497,1	436,8	497,7	497,7	557	496,7	60,55	59,7
—	fort	496,8	436,8	497,6	497,7	557	496,6	60,3	59,8
—	anwesend	496,6	436,2	497,2	497,2	556,8	496,6	60,65	59,85
—	fort	496,6	436,2	496,9	496,9	556,3	496,3	60,5	59,65
—	anwesend	496,3	436,1	496,7	496,7	556	496,1	60,4	59,55
—	fort	496	435,8	496,2	496,3	555,8	496,1	60,3	59,6
—	anwesend	496,2	436	496,7	496,8	556,3	496,4	60,4	59,7
—	fort	496,3	436,1	496,2	496,2	555,9	495,8	60	59,9
—	anwesend	495,7	435,2	495,9	495,8	555,3	495,4	60,6	59,7
—	fort	495,4	435	495,4	495,6	555,1	495,2	60,4	59,7

No. 17.

Ausschlag als die Stromrichtung war:

positiv

negativ

beim

Schließen

Öffnen

Schließen

Öffnen

als die secundäre Drahtrolle war

fort	anwesend	fort	anwesend	fort	anwesend	fort	anwesend
59,0	59,2	59,8	59,9	60,1	60,2	59,55	59,6
59,3	58,95	59,6	59,9	60,25	60,1	59,65	59,4
58,7	58,55	59,65	59,7	60,2	60,7	59,75	59,9
58,9	58,45	59,6	59,45	60,2	60,55	59,8	59,7
58,5	58,6	59,3	59,4	60,4	60,65	59,7	59,85
59,0	58,6	59,5	59,3	60,4	60,4	59,6	59,55
58,7	58,75	59,4	59,4	60,15	60,4	59,75	59,7
58,6	58,9	59,4	59,3	60,2	60,6	59,8	59,7
58,84	58,75	59,54	59,54	60,24	60,45	59,72	59,68

Beim Öffnen der Kette erzeugte demnach der Extrastrom die Ablenkung:

Bei Anwesenheit des Cylinders:

Strom, positiv 59,54

Strom, negativ 59,68

Mittel 59,61.

Bei Abwesenheit des Cylinders:

Strom, positiv 59,54

Strom, negativ 59,72

Mittel 59,63.

Beim Schließen der Kette erzeugte der Extrastrom die Ablenkung:

Bei Anwesenheit des Cylinders:

Strom, positiv 58,75

Strom, negativ 60,45

Mittel 59,60.

Bei Abwesenheit des Cylinders:

Strom, positiv 58,84

Strom, negativ 60,24

Mittel 59,24.

Diese Zahlen lassen, wie man sieht, nichts zu wünschen übrig.

24. Aus obigen Versuchen geht hervor, daß der Werth von

$$\int_0^2 i dt$$

für einen Extrastrom sich nicht ändert, wenn der primäre Strom zu gleicher Zeit einen inducirten Strom in einem benachbarten Leiter erregt. Es bleibt noch zu wissen, ob dieser inducirte Strom einen Einfluss ausübe auf die Gröfse:

$$\int_0^2 i^2 dt$$

Um diese Aufgabe zu lösen, auf welche eine bejahende Antwort zu finden sehr wahrscheinlich war, nahm ich meine Hülfe wiederum zum Weber'schen Dynamometer. Ich richtete die Apparate wie vorhin ein. In Fig. 1, Taf. V findet sich die Inductionsrolle (9), welche von einer anderen mit langem Draht (19) umgeben war. Ich beobachtete den Effect, welchen der Extrastrom auf die bewegliche Drahtrolle des Dynamometers ausübte, als die secundäre Drahtrolle offen und als sie geschlossen war. Diese Schließung geschah durch einen Metalldraht, dessen Widerstand als unendlich klein gegen den dieser Drahtrolle betrachtet werden konnte.

Folgendes sind die Resultate, welche mit dem Strom von sechs Daniell'schen Elementen erhalten wurden. In der inducirenden Rolle befand sich kein Eisenkern.

No. 18.

Mittlere Lage des Gleichgewichtspunkts	Extrastrom erhalten durch:	Secundäre Drahtrolle:	Elongation vor dem Durchgang durch den Gleichgewichtspunkt	Beobachtete Elongation	Ablenkung	
					beobachtet	berichtigt
438,88	Öffnen	offen	439,2	437,3	1,58	1,26
	»	geschlossen.	439,1	438	0,88	0,66
	»	offen	439,1	437,4	1,48	1,26
	»	geschlossen.	439,2	438	0,88	0,56
	»	offen	439,1	437,3	1,58	1,36
	»	geschlossen.	439,3	437,8	1,08	0,66
	»	offen	439,2	437,2	1,68	1,36

Mittlere Lage des Gleichgewichtspunkts	Extrastrom erhalten durch:	Secundäre Drahtrolle:	Elongation vor dem Durchgang durch den Gleichgewichtspunkt	Beobachtete Elongation	Ablenkung	
					beobachtet	berichtigt
438,79	Schließen	offen	439,1	431,9	6,89	6,58
	»	geschlossen.	438,9	435,1	3,69	3,58
	»	offen	438,9	432	6,79	6,68
	»	geschlossen.	438,9	434,9	3,89	3,78
	»	offen	438,9	431,6	7,19	7,08
	»	geschlossen.	438,1	434,6	4,19	3,88
	»	offen	438,9	431,3	7,49	7,38

Wir finden also für die Ablenkung, ausgeübt von dem Extrastrom, der erzeugt wurde durchs

Schließen		Öffnen	
als die secundäre Drahtrolle war:			
offen	geschlossen	offen	geschlossen
6,63	3,58	1,26	0,66
6,88	3,78	1,31	0,56
7,23	3,88	1,31	0,63
Mittel 6,91	3,75	1,31	0,63

Mit dem Strom von vier Daniell'schen Elementen, während die inducirende Rolle einen Eisenkern (15) enthielt, bekam ich folgende Resultate:

No. 19.

Mittlere Lage des Gleichgewichtspunkts	Extrastrom erhalten durch:	Secundäre Drahtrolle:	Elongation vor dem Durchgang durch den Gleichgewichtspunkt	Beobachtete Elongation	Ablenkung	
					beobachtet	berichtigt
437,83	Öffnen	offen	438,1	419,9	17,93	17,66
	»	geschlossen.	438,3	431,7	6,13	5,66
	»	offen	438,3	419,7	18,13	17,66
	»	geschlossen.	438,8	431,1	6,73	5,76
	»	offen	438,8	419,3	18,53	17,56
	»	geschlossen.	438,6	431,6	6,23	5,56
	»	offen	438,3	419,9	17,93	17,48

Mittlere Lage des Gleichgewichtspunkts	Extrastrom erhalten durch:	Secundäre Drahtrolle:	Elongation vor dem Durchgang durch den Gleichgewichtspunkt	Beobachtete Elongation	Ablenkung	
					beobachtet	berichtigt
437,79	Schließen	offen	438,2	356,3	81,49	81,08
	»	geschlossen	438,2	423,6	14,19	13,78
	»	offen	438,1	359,2	78,59	78,28
	»	geschlossen	438,2	426,3	11,49	11,08
	»	offen	438,3	360	77,79	77,28
	»	geschlossen	438,2	426	11,79	11,38
	»	offen	438	370,2	67,59	67,38

Wir finden also für die Ablenkung, ausgeübt vom Extrastrome, der erzeugt wurde durchs:

Schließen		Oeffnen	
als die secundäre Drahtrolle war:			
offen	geschlossen	offen	geschlossen
79,68	13,78	17,66	5,66
78,78	11,08	17,61	5,76
77,33	11,38	17,51	5,66
Mittel 78,6	12,08	17,59	5,66

Die eben gefundenen Resultate beweisen, daß ein inducirter Strom, der in einem benachbarten Leiter kreist, im Allgemeinen den Werth der GröÙe

$$\int_0^{\infty} i^2 dt$$

verringert für einen Extrastrom, welcher durch denselben Strom erzeugt wird, der den inducirten Strom hervorrief.

Angenommen, daß die Intensität eines Extrastromes während seiner Dauer nicht variire, folgt aus (17), daß die Gegenwart eines inducirten Stromes in einem benachbarten Leiter die Intensität eines Extrastromes verringert, aber die Zeit seiner Dauer vergrößert, solchergestalt, daß diese beiden GröÙen stets einander umgekehrt proportional sind. Die von dem inducirten Strom ausgeübte Wirkung ist *caeteris paribus* stärker, wenn der primäre Draht um einen

Eisenkern gewickelt ist, und in diesem Fall ist die auf den ersten Extrastrom ausgeübte Wirkung stärker als die auf den zweiten.

Leyden, den 1. October 1857.

(Wird fortgesetzt.)

II. Ueber die Bewegung der Elektricität in Leitern; von G. Kirchhoff.

In einer früheren Abhandlung ¹⁾ habe ich eine Theorie der Bewegung der Elektricität in linearen Leitern aufgestellt; ich will jetzt zeigen, wie die dort durchgeführten Betrachtungen sich so verallgemeinern lassen, dass sie auf Leiter jeder Gestalt anwendbar werden.

Ich bezeichne durch x, y, z die rechtwinkligen Coordinaten eines Punktes des Leiters; den Strom, der zur Zeit t in diesem Punkte fließt, zerlege ich nach den drei Coordinatenaxen und nenne u, v, w die Stromdichtigkeiten der Componenten; diese Stromdichtigkeiten werden gleich seyn müssen den Producten aus den Componenten der im Punkte (x, y, z) wirksamen, auf die Einheit der Elektricitätsmenge bezogenen, elektromotorischen Kraft in die Leitungsfähigkeit. Diese elektromotorische Kraft rührt her zum Theil von vorhandener freier Elektricität, zum Theil von der Induction, die in Folge der Aenderungen der Stromstärke in allen Theilen des Leiters statt findet. Bezeichnet Ω die Potentialfunction der freien Elektricität in Bezug auf den Punkt (x, y, z) , so sind die Componenten des ersten Theiles der elektromotorischen Kraft

$$-2 \frac{\partial \Omega}{\partial x}, -2 \frac{\partial \Omega}{\partial y}, -2 \frac{\partial \Omega}{\partial z}.$$

Um die Componenten des zweiten Theiles angeben zu können, bezeichne ich durch x', y', z' die Coordinaten eines

1) Diese Annalen Bd. 100, S. 193.

zweiten Punktes des Leiters, durch u' , v' , w' die Werthe von u , v , w für diesen Punkt, durch r die Entfernung der Punkte (x, y, z) und (x', y', z') , und setze:

$$U = \iiint \frac{dx' dy' dz'}{r^3} (x - x') [u'(x - x') + v'(y - y') + w'(z - z')]$$

$$V = \iiint \frac{dx' dy' dz'}{r^3} (y - y') [u'(x - x') + v'(y - y') + w'(z - z')]$$

$$W = \iiint \frac{dx' dy' dz'}{r^3} (z - z') [u'(x - x') + v'(y - y') + w'(z - z')],$$

wo die Integrationen über das ganze Volumen des Leiters ausgedehnt gedacht sind. Nach dem Weber'schen Gesetze der Induction sind dann die Componenten des zweiten Theiles der betrachteten elektromotorischen Kraft:

$$- \frac{8}{c^2} \frac{\partial U}{\partial t}, \quad - \frac{8}{c^2} \frac{\partial V}{\partial t}, \quad - \frac{8}{c^2} \frac{\partial W}{\partial t},$$

wo c diejenige constante Geschwindigkeit bezeichnet, mit der zwei Elektricitätstheile gegen einander bewegt werden müssen, damit sie keine Kraft auf einander ausüben. Ist daher k die Leitungsfähigkeit des Leiters so hat man:

$$u = -2k \left(\frac{\partial \Omega}{\partial x} + \frac{4}{c^2} \frac{\partial U}{\partial t} \right) \quad (1)$$

$$v = -2k \left(\frac{\partial \Omega}{\partial y} + \frac{4}{c^2} \frac{\partial V}{\partial t} \right) \quad (2)$$

$$w = -2k \left(\frac{\partial \Omega}{\partial z} + \frac{4}{c^2} \frac{\partial W}{\partial t} \right). \quad (3)$$

Dafs die freie Elektricität auf die Oberfläche des Leiters beschränkt ist, wie beim Gleichgewicht oder bei constanten Strömen, darf man hier nicht annehmen; es wird sich in der That zeigen, dafs im Allgemeinen das Gegentheil stattfindet. Ich bezeichne durch ϵ die Dichtigkeit der freien Elektricität im Punkte (x, y, z) , durch ϵ' die im Punkte (x', y', z') , durch e ihre Dichtigkeit in einem Elemente der Oberfläche dS und durch e' dieselbe für ein zweites Element der Oberfläche dS' , dann ist:

$$\Omega = \iiint \frac{dx' dy' dz'}{r} \epsilon' + \iint \frac{dS'}{r} e' \quad (4)$$

wo die erste Integration über das ganze Volumen, die zweite über die ganze Oberfläche des Leiters auszudehnen ist.

Zu diesen Gleichungen lassen sich noch zwei hinzufügen, die sich auf die mit der Zeit stattfindenden Aenderungen der Dichtigkeiten der freien Elektrizität beziehen. Für jeden Punkt im Innern des Leiters ist nämlich:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{2} \frac{\partial \varepsilon}{\partial t}; \quad (5)$$

und bezeichnet man durch N die nach dem Innern des Leiters gerichtete Normale des Elementes dS seiner Oberfläche, so ist ferner für jeden Punkt dieser Oberfläche:

$$u \cos(N, x) + v \cos(N, y) + w \cos(N, z) = -\frac{1}{2} \frac{\partial \varepsilon}{\partial t}. \quad (6)$$

Aus den aufgestellten Gleichungen läßt sich eine merkwürdige Relation zwischen ε und Ω herleiten. Substituiert man nämlich die Werthe von u , v , w aus (1), (2), (3) in (5), und benutzt, dafs:

$$\frac{\partial^2 \Omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Omega}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Omega}{\partial z^2} = -4\pi \varepsilon$$

ist, so findet man:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = -16k \left[\pi \varepsilon - \frac{1}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} \right) \right].$$

Da die Gleichung für U sich schreiben läßt:

$$U = - \int dx' dy' dz' \frac{\partial}{\partial x} \frac{1}{r} [u'(x-x') + v'(y-y') + w'(z-z')],$$

so ist:

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial x} &= - \int dx' dy' dz' \frac{\partial}{\partial x} \frac{1}{r} u' \\ &\quad - \int dx' dy' dz' \frac{\partial^2}{\partial x^2} \frac{1}{r} [u'(x-x') + v'(y-y') + w'(z-z')]. \end{aligned}$$

Bildet man in ähnlicher Weise die Werthe von $\frac{\partial V}{\partial y}$ und $\frac{\partial W}{\partial z}$, so ergibt sich:

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z}$$

$$= - \int dx' dy' dz' \left(u' \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial x} + v' \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial y} + w' \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial z} \right);$$

denn es ist:

$$\frac{\partial^2 \frac{1}{r}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \frac{1}{r}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \frac{1}{r}}{\partial z^2} = 0$$

für alle Punkte (x', y', z') , die nicht mit dem Punkte (x, y, z) zusammenfallen; und ausgedehnt über einen unendlich kleinen Raum, in dem der Punkt (x, y, z) liegt, sind die Integrale, welche die zweiten Theile von $\frac{\partial U}{\partial x}$, $\frac{\partial V}{\partial y}$, $\frac{\partial W}{\partial z}$ bilden, unendlich klein. Von der Richtigkeit der letzten Behauptung überzeugt man sich leicht durch dasselbe Verfahren, durch welches Gauss nachgewiesen hat, daß zu dem Potentiale von Massen, die continuirlich einen Raum erfüllen, in Beziehung auf einen Punkt in diesem Raume die Massen, die dem Punkte unendlich nahe liegen, nur unendlich wenig beitragen¹⁾. Ersetzt man in dem Integrale, welches die rechte Seite der gefundenen Gleichung bildet, die nach x, y, z genommenen Differentialquotienten durch die negativen nach x', y', z' genommenen, zerlegt dasselbe in drei Theile und integrirt den ersten partiell nach x' , den zweiten nach y' , den dritten nach z' , so erhält man:

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z}$$

$$= - \int \frac{dS'}{r} [u' \cos(N', x) + v' \cos(N', y) + w' \cos(N', z)]$$

$$- \int \frac{dx' dy' dz'}{r} \left(\frac{\partial u'}{\partial x'} + \frac{\partial v'}{\partial y'} + \frac{\partial w'}{\partial z'} \right);$$

wo N' die nach Innen gerichtete Normale des Oberflächenelementes dS' bezeichnet. Mit Rücksicht auf die Gleichungen (6), (5) und (4) läßt sich diese Gleichung aber schreiben:

1) Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins; 1839 S. 7.

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = \frac{1}{2} \frac{\partial \Omega}{\partial t}.$$

Hieraus folgt:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = -8k \left(2\pi\varepsilon - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \Omega}{\partial t^2} \right). \quad (7)$$

Man ersieht aus dieser Gleichung sehr deutlich, daß nur ausnahmsweise $\varepsilon = 0$ seyn kann, daß also im Allgemeinen auch im Innern des Leiters sich freie Elektrizität befindet. Es ist wohl wahrscheinlich, daß bei den sogenannten mechanischen Wirkungen des Entladungsstromes einer Leydner Flasche, z. B. dem Zerstäuben eines feinen Drahtes, diese im Innern befindliche freie Elektrizität eine wesentliche Rolle spielt.

Ich will die hier entwickelte Theorie jetzt auf den Fall anwenden, den ich in der im Eingange angeführten Abhandlung betrachtet habe, auf den Fall nämlich, daß der Leiter ein unendlich dünner Draht ist, in dessen Nähe keine andere elektrische Körper vorhanden sind. Ich will nachweisen, daß diese allgemeinere Theorie dieselben Resultate liefert, die ich dort hergeleitet habe, außerdem aber noch gewisse Fragen beantwortet, die dort unbeantwortet geblieben sind.

Ich werde die allgemeinen Gleichungen zunächst vereinfachen durch die Einführung der Voraussetzung, daß der Leiter ein Cylinder von kreisförmigem Querschnitt ist, und daß die Strömungen, sowie die Vertheilung der freien Elektrizität, symmetrisch zur Axe sind. Ich nehme die Axe zur x -Axe; für y und z führe ich neue Coordinaten ρ und φ ein, so, daß

$$y = \rho \cos \varphi, \quad z = \rho \sin \varphi$$

ist; entsprechend setze ich:

$$y' = \rho' \cos \varphi', \quad z' = \rho' \sin \varphi'.$$

Ich bezeichne ferner die Stromdichtigkeit der auf der Axe des Cylinders senkrechten Componente des Stromes — positiv gerechnet in der von der Axe fortgehenden Richtung — für den Punkt (x, ρ, φ) durch σ und für den Punkt (x', ρ', φ') durch σ' . Es ist dann:

$$\begin{aligned} v &= \sigma \cos \varphi, & w &= \sigma \sin \varphi, \\ v' &= \sigma' \cos \varphi', & w' &= \sigma' \sin \varphi'. \end{aligned}$$

Man hat daher:

$$u = -2k \left(\frac{\partial \Omega}{\partial x} + \frac{4}{c^2} \frac{\partial U}{\partial t} \right), \quad (8)$$

wo

$$U = \int \frac{dx' \varphi' d\varphi' d\varphi'}{r^3} (x-x') [u'(x-x') + \sigma' (\varphi \cos \varphi - \varphi' - \varphi')] \quad (9).$$

Vernachlässigt man die Wirkung der auf den Grundflächen des Cylinders befindlichen freien Elektricität, so läßt sich, wenn α den Radius des Cylinders bezeichnet, die Gleichung (4) schreiben:

$$\Omega = \int \frac{dx' \varphi' d\varphi' d\varphi'}{r} s' + \alpha \int \frac{dx' d\varphi'}{r} e' \quad (10).$$

Die Gleichung (5) wird:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{\varphi} \frac{\partial \varphi \sigma}{\partial \varphi} = -\frac{1}{2} \frac{\partial s}{\partial t}; \quad (11)$$

und die Gleichung (6), die sich auf die Oberfläche bezieht:

$$\sigma = \frac{1}{2} \frac{\partial s}{\partial t}. \quad (12)$$

Die Ausdrücke von Ω und U nehmen eine wesentlich einfachere Gestalt an, wenn man die Voraussetzung einführt, daß der Querschnitt des Cylinders unendlich klein ist, während seine Länge eine endliche ist. Ich nenne l diese Länge, den Anfangspunkt der Coordinaten lege ich in den Mittelpunkt des Cylinders, die Integrationen nach x' sind dann von $-\frac{l}{2}$ bis $+\frac{l}{2}$ auszudehnen. Der Kürze wegen setze ich

$$x' - x = \xi;$$

für dx' kann dann in den Integralen $d\xi$ geschrieben werden; die Integrationen nach ξ sind zwischen den Grenzen $-\frac{l}{2} - x$ und $\frac{l}{2} - x$ zu nehmen, von denen die erste stets negativ, die zweite stets positiv ist. Die in den Integralen vorkommende GröÙe r ist bestimmt durch die Gleichung

$$r^2 = \xi^2 + \beta^2,$$

wo

$$\beta^2 = \varrho^2 + \varrho'^2 - 2\varrho\varrho' \cos(\varphi - \varphi').$$

Um mit der Umformung des zweiten Theiles von Ω zu beginnen, denke ich mir in dem Integrale

$$\int_{-\frac{l}{x}-2}^{\frac{l}{2}-x} \frac{d\xi e'}{\sqrt{\beta^2 + \xi^2}}$$

e' nach dem Taylor'schen Satze nach Potenzen von ξ entwickelt, also gesetzt:

$$e' = e + \frac{\partial e}{\partial x} \xi + \frac{\partial^2 e}{\partial x^2} \frac{\xi^2}{1.2} + \dots;$$

die einzelnen Theile, in welche das Integral sich dann zerlegen läßt, sind von der Form:

$$\frac{1}{1.2 \dots n} \frac{\partial^n e}{\partial x^n} \int \frac{\xi^n d\xi}{\sqrt{\beta^2 + \xi^2}}.$$

Es ist aber:

$$\int \frac{\xi^n d\xi}{\sqrt{\beta^2 + \xi^2}} = \frac{1}{n} \xi^{n-1} \sqrt{\beta^2 + \xi^2} - \frac{n-1}{n} \beta^2 \int \frac{\xi^{n-2} d\xi}{\sqrt{\beta^2 + \xi^2}}$$

und

$$\int \frac{d\xi}{\sqrt{\beta^2 + \xi^2}} = \lg(\xi + \sqrt{\beta^2 + \xi^2})$$

$$\int \frac{\xi d\xi}{\sqrt{\beta^2 + \xi^2}} = \sqrt{\beta^2 + \xi^2}.$$

Wenn β unendlich klein ist, was stattfindet, wenn α unendlich klein ist, so wird hiernach der erste, und *nur* der erste, jener Theile unendlich groß. Man darf daher alle folgenden Theile gegen den ersten vernachlässigen, also setzen:

$$\int \frac{e' d\xi}{\sqrt{\beta^2 + \xi^2}} = 2e \lg \frac{\sqrt{l^2 - 4x^2}}{\beta},$$

oder auch, indem man wieder Endliches gegen unendlich Großes vernachlässigt:

$$= 2e \lg \frac{l}{\beta}.$$

Weiter ist nun:

$$\int_0^{2\pi} \lg \beta d\varphi' = 2\pi \lg \varrho', \text{ wenn } \varrho' > \varrho.$$

In dem zweiten Theile von Ω ist $\varrho' = \alpha$ zu setzen; es ist daher dieser zweite Theil, nämlich

$$\begin{aligned} \alpha \int \frac{dx' d\varphi'}{r} e', \\ = 4\pi \alpha e \lg \frac{l}{\alpha}. \end{aligned}$$

Äehnliche Betrachtungen lassen sich in Beziehung auf den *ersten* Theil von Ω anstellen. Bezeichnet man den Werth, den ε in dem Punkte (x, ϱ', φ') hat, durch ε'_0 , so findet man durch dieselben, daß

$$\int \frac{\varepsilon' dx'}{r} = 2\varepsilon'_0 \lg \frac{l}{\beta}$$

gesetzt werden darf; weiter ist:

$$\int \lg \beta d\varphi' = 2\pi \lg \varrho', \text{ wenn } \varrho' > \varrho$$

und

$$= 2\pi \lg \varrho, \text{ wenn } \varrho > \varrho':$$

für den einen, wie für den andern dieser beiden Ausdrücke kann man aber $2\pi \lg \alpha$ schreiben, wenn man Endliches gegen unendlich Großes vernachlässigt; es wird deshalb

$$\int \frac{dx' \varrho' d\varphi' d\varphi'}{r} \varepsilon' = 4\pi \lg \frac{l}{\alpha} \int_0^{\alpha} \varrho' d\varrho' \varepsilon'_0.$$

Setzt man

$$2\pi \alpha e + 2\pi \int_0^{\alpha} \varrho' d\varrho' \varepsilon'_0 = E,$$

d. h. bezeichnet man durch $E dx$ die Menge freier Elektrizität, die in dem dem Elemente dx entsprechenden Theile des Drahtes enthalten ist¹⁾, so ergibt sich also;

$$\Omega = 2E \lg \frac{l}{\alpha} \quad (13).$$

1) Es ist E hier dieselbe GröÙe, die ich in der oben angeführten Abhandlung e genannt habe.

In derselben Weise läßt sich der Ausdruck von U in der Gleichung (9) behandeln. In demselben denke ich mir u' und σ' nach Potenzen von ξ entwickelt, und dabei die Werthe von u und σ für den Punkt (x, ϱ', φ') durch u'_0 und σ'_0 bezeichnet. In den Theilen, in welche der Ausdruck sich dann zerlegen läßt, kommen Integrale vor von der Form:

$$\int \frac{\xi^n d\xi}{(\beta^2 + \xi^2)^{\frac{3}{2}}}.$$

Es ist:

$$\int \frac{\xi^n d\xi}{(\xi^2 + \xi^2)^{\frac{3}{2}}} = \frac{1}{n-2} \frac{\xi^{n-1}}{\sqrt{\beta^2 + \xi^2}} - \frac{n-1}{n-2} \beta^2 \int \frac{\xi^{n-2} d\xi}{(\beta^2 + \xi^2)^{\frac{3}{2}}},$$

$$\int \frac{\xi d\xi}{(\beta^2 + \xi^2)^{\frac{3}{2}}} = -\frac{1}{\sqrt{\beta^2 + \xi^2}}$$

$$\int \frac{\xi^3 d\xi}{(\beta^2 + \xi^2)^{\frac{3}{2}}} = -\frac{\xi}{\sqrt{\beta^2 + \xi^2}} + \lg(\xi + \sqrt{\beta^2 + \xi^2}).$$

Von den Integralen der betrachteten Form, wenn sie genommen werden von einer negativen bis zu einer positiven endlichen Gränze, ist daher dasjenige, für welches $n=2$ ist, und *nur* dieses unendlich groß, falls β unendlich klein ist. Alle übrigen Integrale lassen sich daher gegen dieses vernachlässigen und in ihm kann der endliche Theil auch fortgelassen werden. Als Faktor kommt in demselben die Gröfse

$$u'_0 - \frac{\partial \sigma \sigma'}{\partial x} (\varrho \cos \varphi - \varphi' - \varrho')$$

vor; wegen der Kleinheit von ϱ und ϱ' kann aber hierfür u'_0 gesetzt werden. Hiernach erhält man durch eine Rechnung, die derjenigen gleich ist, welche oben in Bezug auf Ω angestellt ist:

$$U = 4\pi \log \frac{l}{a} \int \varrho' d\varrho' u'_0.$$

Bezeichnet man die Elektrizitätsmenge, welche in der Zeiteinheit durch den Querschnitt des Drahtes fließt, also die Intensität des Stromes, durch i , so läßt sich diese Gleichung einfacher schreiben:

$$U = 2i \log \frac{l}{a}.$$

Substituirt man diesen Werth von U und den Werth von Ω aus (13) in die Gleichung (8), so erhält man:

$$u = -4 \log \frac{l}{a} k \left(\frac{\partial E}{\partial x} + \frac{4}{c^2} \frac{\partial i}{\partial t} \right).$$

Die rechte Seite dieser Gleichung ist unabhängig von φ , es ist also auch u von φ unabhängig und daher

$$i = \pi \alpha^2 u;$$

mithin ist auch:

$$i = -4 \pi \alpha^2 k \log \frac{l}{a} \left(\frac{\partial E}{\partial x} + \frac{4}{c^2} \frac{\partial i}{\partial t} \right). \quad (14)$$

Eine zweite Gleichung zwischen den Grössen E und i erhält man aus den Gleichungen (11) und (12). Multiplicirt man nämlich die erste von diesen mit $\varphi d\varphi d\varphi$, integrirt sie über den Querschnitt des Drahtes und zieht von ihr die zweite ab, nachdem diese mit $2\pi\alpha$ multiplicirt ist, so erhält man:

$$\frac{\partial i}{\partial x} = -\frac{1}{2} \frac{\partial E}{\partial t}. \quad (15)$$

Bei der Ableitung der Gleichungen (14) und (15) ist vorausgesetzt, daß der Draht gerade ist. Da dieselben aber zeigen, daß auf den elektrischen Zustand an einer Stelle des Drahtes die elektrischen Zustände aller Punkte, die in endlicher Entfernung von dieser liegen, von keinem Einfluß sind, so werden sie auch gelten, wenn der Draht gekrümmt ist, sobald nur der Radius der Krümmung überall endlich ist und nicht Punkte unendlich nahe an einander liegen, zwischen denen ein endliches Stück des Drahtes sich befindet. Die Gleichungen (14) und (15) sind aber dieselben als diejenigen, zu denen ich für denselben Fall in der oben angeführten Abhandlung gekommen bin. Die hier entwickelte allgemeinere Theorie führt, also zu denselben Resultaten, als die dort aus einander gesetzte; sie führt aber auch noch zu weiteren. Hat man nämlich aus (14) und (15) E bestimmt, dann aus (13) Ω , so kann man durch Integration von (7) ε , oder die Dichtigkeit der freien Elek-

tricität im Innern des Drahtes, finden, sobald nur für den Anfangspunkt der Zeit ε gegeben ist. Ist der Anfangswerth von ε unabhängig von ρ , so ist immer ε hiervon unabhängig, d. h. die Dichtigkeit der freien Elektrizität in allen Punkten *eines* Querschnitts ist dieselbe; denn nach (13) ist Ω unabhängig von ρ , und in der Gleichung (7) kommt ρ nicht vor. Nach der Bestimmung von ε kann man weiter e finden; wenn der Anfangswerth von ε unabhängig von ρ ist, was vorausgesetzt werden soll, so dient hierzu die Gleichung:

$$E = 2\pi\alpha e + \pi\alpha^2 e.$$

Unter derselben Voraussetzung ist es endlich leicht aus e σ zu berechnen; es ist nämlich:

$$\sigma = \frac{1}{2} \frac{\rho}{\alpha} \frac{\partial e}{\partial t}.$$

Dafs diese Gleichung für $\rho = \alpha$ richtig ist, lehrt die Gleichung (12), und dafs σ proportional mit ρ ist, die Gleichung (11); multiplicirt man nämlich diese mit $\rho d\rho$ und integrirt sie, indem man benutzt, dafs u und ε unabhängig von ρ sind, so findet man aus ihr:

$$\sigma = -\frac{\rho}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{2} \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} \right) + \frac{\text{Const.}}{\rho}.$$

Die Constante der Integration mufs aber gleich 0 seyn, denn für $\rho = 0$ darf σ nicht unendlich werden, sondern es mufs im Gegentheil verschwinden, weil in der Axe des Drahtes die Strömungen die Richtung der Axe haben müssen.

Ich habe die Lösung der Gleichungen (14) und (15) an dem mehrfach erwähnten Orte für einen Fall discutirt, dem man sich um so mehr nähert, je kleiner man den Widerstand des Drahtes macht, und habe nachgewiesen, dafs in diesem Falle sich die Elektrizität in dem Drahte ähnlich fortpflanzt, wie eine Welle in einer gespannten Saite, und zwar mit der Geschwindigkeit, die das Licht im leeren Raume hat. Es ist von Interesse auch den entgegenge-

setzten Fall zu untersuchen, den nämlich, dem man sich um so mehr nähert, je größer der Widerstand des Drahtes wird. Ich will dieses hier thun unter der Voraussetzung, daß die beiden Enden des Drahtes mit einander verbunden sind.

Ich bezeichne wieder, wie in der früheren Abhandlung, den Widerstand des Drahtes durch r , und setze

$$\log \frac{l}{a} = \gamma;$$

dann ist die Lösung der Differentialgleichungen (14) und (15), welches auch der Werth von r seyn möge, die folgende:

$$\begin{aligned} E &= \Sigma (C_1 e^{-\lambda_1 t} + C_2 e^{-\lambda_2 t}) \sin nx \\ &\quad + (C_1' e^{-\lambda_1 t} + C_2' e^{-\lambda_2 t}) \cos nx, \\ i &= \Sigma -\frac{1}{2n} (\lambda_1 C_1 e^{-\lambda_1 t} + \lambda_2 C_2 e^{-\lambda_2 t}) \cos nx \\ &\quad + \frac{1}{2n} (\lambda_1 C_1' e^{-\lambda_1 t} + \lambda_2 C_2' e^{-\lambda_2 t}) \sin nx: \end{aligned}$$

wo n ein Vielfaches von $\frac{2\pi}{l}$ bezeichnet, λ_1 und λ_2 die Werthe:

$$\frac{c^2 r}{32 \gamma l} \left[1 \pm \sqrt{1 - \left(\frac{32 \gamma}{c r \sqrt{2}} n l \right)^2} \right]$$

haben, C_1, C_2, C_1', C_2' willkürliche Constanten sind, und die Summation über alle Werthe von n auszudehnen ist. Die Constanten C bestimmen sich leicht, sobald für $t=0$ E und i gegeben sind; hat man nämlich die Functionen von x , in welche für $t=0$ E und i übergehen sollen, dargestellt in der Form:

$$\Sigma (E_n \sin nx + E_n' \cos nx)$$

und

$$\Sigma (-i_n \cos nx + i_n' \sin nx),$$

so hat man die Gleichungen:

$$E_n = C_1 + C_2$$

$$i_n = \frac{1}{2n} (\lambda_1 C_1 + \lambda_2 C_2)$$

und

$$E_n = C_1' + c_2'$$

$$i_n = \frac{1}{2n} (\lambda_1 C_1' + \lambda_2' C_2');$$

die Auflösungen dieser sind:

$$C_1 = \frac{\lambda_2 E_n - 2n i_n}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

$$C_2' = \frac{-\lambda_1 E_n + 2n i_n}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

$$C_1' = \frac{\lambda_2 E_n' - 2n i_n'}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

$$C_2' = \frac{-\lambda_1 E_n' + 2n i_n'}{\lambda_2 - \lambda_1}.$$

In der früheren Abhandlung ist der Fall untersucht, daß

$$\frac{32\gamma}{cr\sqrt{2}}$$

als unendlich groß betrachtet werden kann; es soll nun angenommen werden, daß diese GröÙe unendlich klein ist. Es sind dann die beiden Wurzeln λ_1 und λ_2 reell; ist λ_2 die gröÙere von beiden, so ist bei Vernachlässigung von Gliedern niedriger Ordnung:

$$\lambda_1 = \frac{c^2 r}{16\gamma l}, \quad \lambda_2 = \frac{8\gamma l}{r} n^2.$$

Hieraus folgt:

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \left(\frac{16\gamma}{cr\sqrt{2}} n l \right)^2;$$

dieser Ausdruck ist unendlich klein, da nl ein Vielfaches von 2π also endlich ist. Die Ausdrücke der GröÙen C lassen sich hiernach schreiben:

$$C_1 = E_n - \frac{2n}{\lambda_2} i_n, \quad C_1' = E_n' - \frac{2n}{\lambda_2} i_n',$$

$$C_2 = -\frac{\lambda_1}{\lambda_2} E_n + \frac{2n}{\lambda_2} i_n, \quad C_2' = -\frac{\lambda_1}{\lambda_2} E_n' + \frac{2n}{\lambda_2} i_n'.$$

Der Coëfficient von $\sin nx$ in dem Ausdrucke von E wird daher:

$$E_n (e^{-\lambda_1 t} - \frac{\lambda_1}{\lambda_2} e^{-\lambda_2 t}) - \frac{2n}{\lambda_2} i_n (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

oder

$$E_n e^{-\lambda_1 t} - \frac{2n}{\lambda_2} i_n (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}),$$

und der Coëfficient von $-\cos nx$ in dem Ausdrucke von i :

$$E_n \frac{\lambda_1}{2n} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) i_n \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t} \right)$$

Man erhält hieraus die Coëfficienten von $\cos nx$ in E und von $\sin nx$ in i , wenn man für E_n und i_n setzt E'_n und i'_n . Schließt man den Fall aus, daß der Anfangswerth von i unendlich groß ist gegen die Werthe, die i bei ungeändertem Anfangswerthe von E erhält, wenn der Anfangswerth von $i=0$ ist, so vereinfachen sich diese Ausdrücke. Es ist nämlich aus ihnen ersichtlich, daß, wenn für $t=0$ $i=0$, d. h. wenn $i_n=0$ ist, i von der Ordnung von $E \frac{\lambda_1}{2n}$ ist; es ist also bei der ausgesprochenen Beschränkung i_n von der Ordnung $E_n \frac{\lambda_1}{2n}$, und es werden sich die Coëfficienten von $\sin nx$ in E und von $-\cos nx$ in i schreiben lassen:

$$E_n e^{-\lambda_1 t}$$

und

$$E_n \frac{\lambda_1}{2n} e^{-\lambda_1 t} + \left(i_n - E_n \frac{\lambda_1}{2n} \right) e^{-\lambda_2 t}.$$

Schließt man ferner von der Betrachtung diejenigen Werthe von t aus, die so klein sind, daß $\lambda_1 t$ unendlich klein ist, so ist $\lambda_2 t$ unendlich groß, und daher der zweite Term in dem zweiten dieser Ausdrücke gegen den ersten zu vernachlässigen. Da dieselben Betrachtungen auch in Bezug auf die Coëfficienten von $\cos nx$ und von $\sin nx$ in den Ausdrücken von E und i gelten, so werden diese Ausdrücke, wenn man noch für λ_1 den oben aufgestellten Werth substituirt:

$$E = \Sigma (E_n \sin nx + E'_n \cos nx) e^{-\frac{8\gamma^l}{r} n^2 t} \quad (16)$$

$$i = \frac{4\gamma^l}{r} \Sigma n (-E_n \cos nx + E'_n \sin nx) e^{-\frac{8\gamma^l}{r} n^2 t}. \quad (17)$$

Diese Ausdrücke sind unabhängig von c ; es sind die Lösungen der Differentialgleichungen, die aus (14) und (15)

entstehen, wenn man c unendlich groß setzt, nämlich der Differentialgleichungen:

$$i = - \frac{4\gamma l}{r} \frac{\partial E}{\partial x}$$

$$\frac{\partial i}{\partial x} = - \frac{1}{2} \frac{\partial E}{\partial t}.$$

Eliminirt man aus diesen i , so erhält man:

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \frac{8\gamma l}{r} \frac{\partial^2 E}{\partial x^2},$$

welche Gleichung von derselben Form als diejenige ist, welche die Fortpflanzung der geleiteten Wärme bestimmt. In dem betrachteten Falle pflanzt sich also die Elektrizität ähnlich wie die geleitete Wärme fort.

Dafs bei der über den Widerstand r gemachten Voraussetzung die Gleichungen (16) und (17) wirklich Lösungen der Gleichungen (14) und (15) sind, läfst sich auch leicht *a posteriori* nachweisen. Man überzeugt sich nämlich ohne Schwierigkeit, dafs bei jener Voraussetzung $\frac{4}{c_2} \frac{\partial i}{\partial x}$ unendlich klein gegen $\frac{\partial E}{\partial x}$ ist, wenn für i und E ihre Werthe aus (17) und (16) gesetzt werden.

In ganz ähnlicher Weise, wie der Fall, dafs der Draht ein in sich zurückkehrender ist, hier behandelt ist, läfst sich auch der Fall behandeln, dafs die Enden des Drahtes getrennt sind und in ihnen das Potential zwei constante Werthe hat. Man findet für diesen unter der Voraussetzung, dafs der Widerstand des Drahtes groß genug ist, dieselbe Analogie zwischen der Fortpflanzung der Elektrizität und der der geleiteten Wärme, die sich hier gezeigt hat.

Bei dem Jacobi'schen Widerstandsetalon, einem Kupferdrahte von 7^m,62 Länge und 0^{mm},333 Radius ist, wie an dem mehrfach erwähnten Orte gezeigt ist,

$$\frac{32\gamma}{rc\sqrt{2}} = 2070;$$

bei einem Drahte von demselben Material, demselben Querschnitt und einer Länge von 1000 Kilometer ist dieselbe

Größe $= 0,034$; sie kann bei jenem näherungsweise als unendlich groß, bei diesem als unendlich klein betrachtet werden; es pflanzt sich bei jenem die Elektrizität ähnlich wie eine Welle in einer Saite, bei diesem wie die geleitete Wärme fort.

Thomson ¹⁾ hat die Bewegung der Elektrizität in einem unterseeischen Telegraphendrahte untersucht; er hat dabei die Annahme gemacht, ohne die Zulässigkeit derselben zu prüfen, daß die Induction keinen merklichen Einfluß ausübt, und hat gezeigt, daß dann die Elektrizität sich wie die geleitete Wärme bewegt. Die hier durchgeführten Betrachtungen beweisen, daß jene Annahme schon bei einem einfachen Drahte erfüllt ist, wenn die Länge desselben nur groß genug ist; sie wird um so mehr richtig seyn bei einem unterseeischen Telegraphendrahte, bei dem die Bewegung der Elektrizität in Folge der im Meereswasser stattfindenden Leitung erheblich verlangsamt wird.

1) *Phil. Mag. Ser. IV, Vol. II, p. 157.*

III. Ueber das Verhalten der Borsäure zur Weinsteinsäure; von *Heinr. Rose*.

Auf nassem Wege ist die Borsäure eine so schwache Säure, daß sie selbst der Kohlensäure in mancher Hinsicht an Stärke als Säure nachsteht. Diese schwach saure Eigenschaft der Borsäure, so wie auch die das Curcuma-papier zu bräunen; sind Ursach gewesen, daß man sie in manchen Fällen als Base betrachtet hat, und es läßt sich nicht läugnen, daß durch solche Ansicht die Constitution mehrerer sonderbar zusammengesetzter Salze sich auf eine genügende Weise erklären läßt. Es sind dies die Verbindungen des Weinstens mit dem Borax und der Borsäure. Sie zeigen nach Duflos Untersuchungen ¹⁾ eine wahrscheinliche Zusammensetzung, wenn man annimmt, daß in ihnen die Borsäure als Base mit der Weinsteinsäure verbunden ist.

Eine Reihe von Versuchen, welche ich in dieser Hinsicht angestellt habe, scheint auch diese Ansicht zu bestätigen. Es wurden gleiche Mengen von Borax, in der zehnfachen Menge von Wasser heiß aufgelöst, mit verschiedenen Mengen von Weinsteinsäure versetzt, und das Ganze nach dem Erkalten lange Zeit, mehrere Wochen hindurch, stehen gelassen. Durch den Zusatz von einem Atomgewicht von Weinsteinsäure ²⁾ zu einem des Borax entstand nach längerer Zeit eine geringe Abscheidung von Borsäure. Ein weit größerer Absatz dieser Säure erfolgte durch den Zusatz von zwei Atomgewichten der Weinsteinsäure; die größte Menge von Borsäure wurde indessen aus einem Atomgewicht des Borax durch drei Atomgewichte der Weinsteinsäure ausgeschieden. Wurden vier Atomgewichte der Weinsteinsäure angewandt, so erfolgte

1) Schweigger-Seidel, neues Jahrbuch der Chemie und Physik Bd. 4, S. 188 und S. 333.

2) Unter ein Atom Weinsteinsäure ist bei diesen Versuchen noch immer $C^4H^2O^5 + H$ verstanden; das Atomgewicht ist daher 937,5.

Poggendorff's Annal. Bd. CII.

eine Abscheidung von Borsäure ungefähr von derselben Menge, wie sie durch zwei Atomgewichte der organischen Säure hervorgebracht worden war; eben so wie die Beimengung von fünf Atomgewichten Weinsteinsäure zu einem des Borax denselben scheinbaren Erfolg hatte, wie der Zusatz von einem Atom Weinsteinsäure. Durch sechs Atomgewichte dieser Säure wurden nach dem langen Stehen nur Spuren von Borsäure abgesetzt; durch sieben Atomgewichte von Weinsteinsäure aber zu einem des Borax konnte vollständig die Ausscheidung der Borsäure verhindert werden.

Diese Resultate führen, es ist nicht zu läugnen, zu dem Schlusse, daß die Borsäure sich wie eine schwache Base zur Weinsteinsäure verhalten müsse. Denn sie sind denen analog, welche solche Oxyde hervorbringen können, die bald als schwache Basen, bald als schwache Säuren auftreten können. Setzen wir zu einer Lösung von Thonerde in Kalihydrat, in welcher erstere als Säure zu betrachten ist, nach und nach eine stärkere Säure, z. B. verdünnte Schwefelsäure hinzu, so scheidet die stärkere Säure zuerst die schwächere aus; eine größere Menge von ersterer aber löst den entstandenen Niederschlag wiederum auf, und in dieser Lösung ist die Thonerde Base geworden.

Wenn man indessen die Eigenschaften der Borsäure genauer untersucht, so stößt man auf Thatsachen, welche mit der Ansicht von der basischen Natur der Borsäure nicht zu vereinigen sind.

Schon das Verhalten der Borsäure gegen andere Säuren, welche von weit stärker saurer Natur als die Weinsteinsäure sind, steht damit in Widerspruch. Gegen diese müßte die Borsäure ihre Eigenschaft als Base noch auffallender dadurch zeigen, daß sie in ihnen noch löslicher wäre. Das ist aber nicht der Fall. In Schwefelsäure, in Salpetersäure und in Chlorwasserstoffsäure löst sich zwar die Borsäure durchs Erwärmen auf, scheidet sich aber durchs Erkalten fast vollständig wieder aus, so daß man sie beinahe unlöslich in diesen Säuren bei der gewöhnlichen Tem-

peratur nennen möchte. Wenigstens ist der Unterschied der Löslichkeit der Borsäure in diesen Säuren gegen die in einer Lösung von Weinsteinsäure und in reinem Wasser sehr bedeutend. Wenn jene starke Säuren nur einigermassen concentrirt sind und wenn man durchs Erhitzen Borsäurehydrat in ihnen gelöst hat, so ertheilt nach dem vollständigen Erkalten die getrennte Flüssigkeit dem starken Alkohol nicht die Eigenschaft mit grüner Flamme zu brennen; nur bisweilen sieht man Spuren von grüner Färbung. Am wenigsten löslich scheint die Borsäure in Salpetersäure zu seyn, so wie auch in Schwefelsäure. Nach Verjagung dieser Säuren durch erhöhte Temperatur bleibt nur ein höchst unbedeutender Rückstand von Borsäure zurück. Hat man Chlorwasserstoffsäure angewandt, so zeigt die von der ausgeschiedenen Borsäure abfiltrirte Flüssigkeit mit Alkohol mehr Spuren einer grünen Färbung, und nach dem Abdampfen einen geringen Rückstand an Borsäure.

Wenn man Borsäure in Alkohol löst, so brennt bekanntlich die Lösung mit einer grünen Flamme. Die Bildung von borsauem Aethyloxyd bedingt in diesem Falle ¹⁾ durch seine Verflüchtigung die grüne Färbung der Flamme; denn bindet man die Borsäure an eine starke Base, so verliert sie die Eigenschaft dem Alkohol eine grüne Flamme mitzutheilen, selbst auch, wenn das entstandene borsaure Salz vom Alkohol gelöst wird. — Auch brennt die alkoholische Lösung der Borsäure nur dann mit grüner Farbe, wenn der Alkohol concentrirt und nicht mit zu vielem Wasser verdünnt worden. Ist dies der Fall, so ist die Farbe der Flamme bläulich, wie sie ein etwas verdünnter Alko-

- 1) Die grüne Farbe, welche Borsäure den Flammen mittheilt, zeigt sich immer, wenn Borsäure gemeinschaftlich mit brennbaren Gasen sich verflüchtigt. So erscheint sie, wenn Borsäurehydrat (nicht aber wasserfreie Borsäure, weil diese weniger flüchtig ist) mit Schwefel gemengt erhitzt wird, oder wenn Mischungen von borsauern Salzen mit saurem schwefelsaurem Kali bei erhöhter Temperatur mit brennbaren Gasarten in Berührung kommen.

hol allein zeigt. Der Zusatz von Wasser verhindert also in diesem Falle die Bildung des borsäuren Aethyloxyds.

Es gehört keine große Menge von starker Base dazu um der Borsäure die Eigenschaft zu entziehen, dem Alkohol die grüne Flamme mitzutheilen. Schon der gewöhnliche Borax, den wir für ein saures Salz halten, zeigt, wenn seine concentrirte wässrige Lösung mit Alkohol vermischt angezündet wird, nur eine gelbe Natronflamme und die grüne Flamme erscheint erst, wenn man Schwefelsäure hinzugefügt, und die Borsäure von der Base getrennt hat. Aber dieselbe Erscheinung findet selbst beim vierfach borsäuren Natron statt, welches ebenfalls nur nach dem Zusetzen von concentrirter Schwefelsäure dem Alkohol die Eigenschaft ertheilt mit grüner Flamme zu brennen. — Man muß den Borax mit noch vier Atomgewichten von Borsäure zusammenschmelzen, so daß also 1 Atom Natron mit 6 Atomen Borsäure verbunden ist, wenn die concentrirte Lösung davon mit starkem Alkohol vermischt mit grüner Flamme brennen soll. Aber auch dann noch ist die Farbe nicht stark grün, und wird es erst nach dem Zusetzen von Schwefelsäure.

Fügt man zum Borax statt Schwefelsäure Chlorwasserstoffsäure, so wird erst durch einen bedeutenden Ueberschuß derselben und durch Concentrirung der Lösung durch Alkohol eine grüne Flamme erzeugt, und die Färbung ist nicht sehr stark. Deutlicher grün brennt die Lösung, wenn Salpetersäure hinzugefügt worden, aber nur in den ersten Augenblicken, ehe die Einwirkung der Salpetersäure auf Alkohol beginnt.

Auch die kohlen-säuren Alkalien verhindern die grüne Färbung der alkoholischen Borsäureflamme. Eben so die alkalischen Erden, wie Kalkerde und kohlen-säure Kalkerde, wobei erst durch Zusetzen von Säuren eine grüne Flamme entsteht.

Es ist bemerkenswerth, daß auch die alkalischen Chlormetalle die Borsäure so sättigen können, daß sie die Eigenschaft verliert, der Alkoholflamme eine grüne Farbe zu

ertheilen. Chlornatrium mit alkoholischer Borsäurelösung vermischt, thut dies; auch kann man dann noch ziemlich viel Chlorwasserstoffsäure hinzufügen, ohne eine grüne Flamme zu erhalten, die erst beim Zusetzen von Schwefelsäure sichtbar wird. — Dasselbe bewirkt auch Chlorkalium, doch muß es in größerer Menge hinzugesetzt werden. Nur durch Hinzufügung von Schwefelsäure tritt die grüne Färbung ein, die dann aber schöner erscheint, weil die schwefelsaure Kalkerde sich leicht aus der alkoholischen Lösung abscheidet, während die gelbe Flamme, die durch Natronsalze hervorgebracht wird, störend auf die grüne Färbung der Borsäureflamme einwirkt.

Da Chlorwasserstoffsäure aus dem Borax die Borsäure wie die Schwefelsäure abscheiden kann, so ist es auffallend, daß von ersterer weit größere Mengen erfordert werden, um die grüne Färbung der alkoholischen Flamme hervorzubringen, und diese noch bei weitem schwächer ist, als die durch Schwefelsäure erzeugte. — Uebrigens verhindert reine Chlorwasserstoffsäure zu einer alkoholischen Borsäurelösung hinzugefügt nicht die Erzeugung der grünen Flamme.

Der Grund hiervon mag wohl der seyn, daß die Chlorwasserstoffsäure die Borsäure aus starken Basen nur bei gewöhnlicher Temperatur ausscheidet, während sie bei höherer Temperatur wegen ihrer Flüchtigkeit diese Wirkung gegen die Borsäure weniger und nur bei größerer Menge äußern kann.

Bei diesen Versuchen, wo Chlorwasserstoffsäure mit Alkohol auf einander wirken, muß man sich nicht durch die blaugrüne Färbung der Flamme, die durch Chloraethyl bewirkt wird, täuschen lassen und sie nicht mit der grünen, die Borsäure hervorbringt, verwechseln. Beide sind übrigens leicht von einander zu unterscheiden.

Es ist nun sehr auffallend, daß einige organische Säuren, besonders Weinsäure sich gegen Borsäure in dieser Hinsicht wie starke Basen verhalten; sie entziehen der Borsäure die Eigenschaft in ihrer alkoholischen Lösung mit grüner Flamme zu brennen. Es gehört indessen eine

nicht unbedeutende Menge der organischen Säure dazu, um diese Wirkung hervorzubringen; gegen 1 Atom der Borsäure müssen nicht weniger als 10 Atome der krystallisirten Weinsteinsäure angewandt werden. Löst man dieses Gemenge in Alkohol auf, so kann man, wenn man denselben anzündet, durchaus keine grüne Färbung der Flamme bemerken, oder nur dann, wenn man so weit die Lösung abgedampft hat, daß die Weinsteinsäure anfängt sich stark zu verkohlen. — Fügt man aber zu der alkoholischen Lösung Schwefelsäure hinzu, so tritt die grüne Färbung sogleich eben so hervor, wie dies geschieht, wenn man diese Säure zu den Verbindungen der Borsäure mit starken Basen hinzufügt ¹⁾).

Ich habe angeführt, daß aus einer concentrirten Lösung des Borax die Weinsteinsäure durch die Länge der Zeit Borsäure abzuscheiden vermag, und am meisten, wenn zu einem Atomgewicht des Borax drei Atomgewichte der Weinsteinsäure hinzugefügt werden. Mengt man aber gepulverten Borax mit gepulverter Weinsteinsäure, so ertheilt das Gemenge, das leicht feucht wird, in welchem Verhältnisse auch beide Substanzen mit einander verbunden sind, dem Alkohol fast nicht oder nur sehr wenig die Eigenschaft mit grüner Flamme zu brennen; dagegen wird die grüne Farbe der Flamme sogleich sehr intensiv, wenn concentrirte Schwefelsäure hinzugefügt wird.

Wenn man aber aus einer concentrirten Lösung von Borax durch verschiedene Mengen von Weinsteinsäure einen Theil der Borsäure durch langes Stehen abgeschieden hat, so ertheilen die abgegossenen Flüssigkeiten, wenn sie mit Alkohol vermischt werden denselben nicht die Eigenschaft mit grüner Flamme zu brennen, und nur bei großer

1) Die Auflösung der Borsäure in Weinsteinsäure zeigt noch andere auffallende Eigenschaften. Wenn auch nicht viel Borsäure darin enthalten, und die Lösung concentrirt ist, so werden durch sie auf keine Weise krystallinische Niederschläge von Weinstein gebildet, wenn concentrirte Lösungen von Chlorkalium oder von schwefelsaurem Kali hinzugefügt werden.

Aufmerksamkeit kann man bisweilen in der Flamme eine grüne Einmischung bemerken. Wenn man hingegen Schwefelsäure hinzusetzt, so erscheint eine intensiv grün gefärbte Flamme.

Die von der ausgeschiedenen Borsäure abgegossenen Flüssigkeiten, als ein Atomgewicht des Borax auf die oben erwähnte Weise mit verschiedenen Mengen, 1 bis 7 Atomgewichten von Weinsteinsäure zersetzt wurde, verhielten sich, ungeachtet ihres verschiedenen Gehalts an Borsäure gegen Alkohol, alle ganz gleich und auf die so eben erwähnte Weise, das heisst, sie ertheilten alle dem Alkohol erst dann eine intensiv grüne Flamme, wenn sie mit concentrirter Schwefelsäure versetzt wurde.

Die verschiedenen Arten des sogenannten Boraxweinstein, obgleich sie nach den gewöhnlichen Vorstellungen freie Säure enthalten, können dem Alkohol nicht die Eigenschaft mittheilen mit grüner Flamme zu brennen. Löst man gemeinschaftlich ein Atomgewicht von Weinstein und ein Atomgewicht von Borsäure auf, und concentrirt die Lösung durch Abdampfen, so ertheilt sie dem Alkohol erst nach Zusatz von concentrirter Schwefelsäure die grüne Farbe. Wäre die Zusammensetzung dieser Verbindung wirklich $\text{K}\bar{\text{T}} + \text{B}\bar{\text{T}}$, wie man sie nach Duflos Untersuchungen annimmt, so müßte die concentrirte Lösung nach Zusatz von Weinsteinsäure oder auch von kleinen Mengen anderer Säuren Weinstein fallen lassen, was nicht der Fall ist. — Auch der gewöhnliche Boraxweinstein, der aus drei Theilen Weinstein und einem Theil Borax (was in diesem Falle mit Atomgewichten fast gleich bedeutend ist) bereitet wird, giebt auch nur nach Zusetzen von concentrirter Schwefelsäure dem Alkohol die Eigenschaft mit grüner Flamme zu brennen. Seine concentrirte Lösung läßt indessen durch Zusetzen von Weinsteinsäure, nicht aber einer anderen Säure, Weinstein fallen, da er wohl neutrales weinstein-saures Kali gemengt enthält.

Sehr kleine Mengen von neutralem weinstein-saurem Kali und von Seignettesalz verhindern eine große Menge

von Borsäure mit Alkohol eine grüne Flamme zu geben. Im ersten Falle wird die Farbe der Flamme rein violett, im zweiten Falle intensiv gelb, wie durch Kali- und Natronsalze allein. Nur durch Zusetzen von Schwefelsäure wird die Flamme grün. Schon $\frac{1}{4}$ Atomgewicht von neutralem weinsteinsaurem Kali kann einem ganzen Atomgewicht Borsäure fast ganz die Eigenschaft nehmen, mit Alkohol grün zu brennen, es bewirkt also beinahe eben so viel wie 10 Atomgewichte freier Weinsteinsäure.

Man könnte das auffallende Verhalten der Weinsteinsäure zur Borsäure vielleicht so deuten, daß beim Zusetzen von Alkohol zu einer Mischung von Weinsteinsäure und Borsäure nur weinsteinsaures Aethyloxyd entsteht, und die Borsäure verhindert wird borsaures Aethyloxyd zu bilden, das erst dann durch Zusetzen von Schwefelsäure erzeugt wird. Abgesehen davon, daß andere Säuren gegen Borsäure sich nicht wie Weinsteinsäure verhalten, würde daraus hervorgehen, daß in diesem Falle die Schwefelsäure sich gleichsam mit der Weinsteinsäure als Base verbindet.

Von unorganischen Säuren verhält sich nur die Phosphorsäure gegen Borsäure der Weinsteinsäure in etwas ähnlich. Wird eine nicht zu sehr verdünnte Phosphorsäure (drei Theile einer syrupdicken Säure von der Dichtigkeit 2,348 wurden mit fünf Theilen Wasser gemischt angewandt) mit Borsäure erhitzt, so scheidet sich zwar nach dem Erkalten der größte Theil der Borsäure ab; die von dem Ausgeschiedenen getrennte Säure ertheilt indessen nicht dem Alkohol eine grüne Flamme, wohl aber nach dem Zersetzen von Schwefelsäure. Es gehören aber größere Mengen von Phosphorsäure dazu, um denselben Erfolg wie von geringeren Mengen von Weinsteinsäure zu erhalten.

Da nach Graf Schaffgotsch's Untersuchungen aus dem Hydrat der Borsäure alles Wasser durch eine lange dauernde Temperatur von 100° ausgetrieben werden kann, bei welcher sich freilich auch etwas Borsäure verflüchtigt, hingegen aus der Weinsteinsäure nicht, sondern diese stür-

ker, bis zu 180° erhitzt werden muß, wenn ein Theil oder der ganze Wassergehalt derselben ausgetrieben, und isomerische Modificationen der Säure erzeugt werden sollen, so muß, wenn die Borsäure in der That gegen die Weinsteinsäure als Base auftreten könnte, die schwächste aller Basen, das Wasser, von der Weinsteinsäure mittelst der Borsäure leicht zu trennen seyn. Gleiche Atomgewichte von wasserfreier Borsäure und von krystallisirter Weinsteinsäure wurden in Wasser gelöst, die Lösung vorsichtig bis zu einem dicken Syrup abgedampft und dieser sehr lange einer constanten Temperatur von 100° ausgesetzt. Aber nach einer fünftägigen Einwirkung der erhöhten Temperatur konnte erst das ursprüngliche Gewicht der Menge wieder erhalten werden, und die Weinsteinsäure hatte ihren ganzen ursprünglichen Wassergehalt noch behalten, während die Borsäure den ihrigen verloren hatte. Dabei fing die Masse an sich so aufzublähen, daß der Versuch unterbrochen, die Masse aus dem Platintiegel herausgenommen und zerrieben werden mußte, um den Versuch mit einem Theile der Masse weiter fortsetzen zu können. Aber auch durch erneute lange Behandlung bei 100° konnte endlich nur kaum der fünfte Theil des Wassers ausgetrieben werden, das in der Weinsteinsäure enthalten war, und der erhaltene Gewichtsverlust rührte wohl größtentheils davon her, daß die Weinsteinsäure beim ersten Eindampfen der Lösung an den Wänden des Gefäßes etwas braun gefärbt und zersetzt worden war.

Wird die Menge der Weinsteinsäure gegen die der Borsäure vermehrt, so wird durch die Erhitzung bei 100° zwar der Gewichtsverlust etwas größer, aber die Masse bläht sich stark auf, und zeigt durch eine starke Bräunung eine Zersetzung der Weinsteinsäure an. Bei Erhitzung von einem Atomgewicht wasserfreier Borsäure mit drei Atomgewichten krystallisirter Weinsteinsäure von 100° wurde ein Gewichtsverlust erhalten, der $\frac{2}{3}$ tel des Wassergehalts der Weinsteinsäure entsprach, der aber offenbar zum größten Theile von der Zersetzung der Weinsteinsäure her-

rührte. Als dagegen ein Atom wasserfreier Borsäure mit fünf Atomen Weinsteinsäure erhitzt wurde, konnte nach der Lösung in Wasser die Masse bei 100° nicht mehr gut zu dem ursprünglichen Gewicht gebracht werden.

Man ersieht aus diesen Versuchen, daß die Borsäure aus der krystallisirten Weinsteinsäure das Wasser nicht auszutreiben vermag, daß aber durch die Beimischung der Borsäure zur Weinsteinsäure letztere leichter durch eine höhere Temperatur zersetzt zu werden scheint, als für sich allein.

Man hat das Verhalten der Borsäure zur Weinsteinsäure mit dem des Antimonoxys gegen dieselbe verglichen. Wir sehen aber, daß es ein verschiedenes ist. Das Antimonoxyd ist namentlich im Brechweinstein ohne Widerrede gegen die Weinsteinsäure Base, und treibt aus derselben das Wasser aus; es kann sogar bei 100° Wasserstoff und Sauerstoff als Wasser aus den Bestandtheilen der Säure verjagen.

Um mit einiger Gewißheit entscheiden zu können, welche von den beiden Säuren, die Weinsteinsäure oder die Borsäure in ihrer Verbindung als Base betrachtet werden könne, unterwarf ich dieselbe der Einwirkung der elektrischen Säule, weil diese vorzüglich mit ziemlicher Sicherheit über diese Zweifel entscheiden kann.

Um die Zersetzung der Weinsteinsäure zu verhindern, wandte ich nur eine schwache Säule von zwei Grove'schen Elementen an, und brachte eine Lösung von einem Atomgewicht Borsäure und von zehn Atomgewichten Weinsteinsäure, welches nach dem Zusetzen von starkem Alkohol nicht mit grüner Flamme brannte, in den Kreis derselben. Die Pole bestanden aus Platinstreifen und waren durch einen Thoncyylinder von einander getrennt. Als nach wenigen Stunden die Flüssigkeiten an den beiden Polen untersucht wurden, brannte die vom positiven Pol nach einem Zusatz von starkem Alkohol mit starker grüner Flamme, die am negativen Pol aber nicht, wohl aber noch nach einem Zusetzen von Schwefelsäure. — Nach dem Resultate dieses Versuches wird es nicht mehr gut

möglich seyn, die Borsäure als Base in ihrer Verbindung mit Weinsteinsäure zu betrachten.

Die Traubensäure verhält sich in allen Stücken gegen Borsäure wie die Weinsteinsäure.

Ich habe oben angeführt, daß man aus der Eigenschaft der Borsäure, das Curcumapapier zu bräunen einen Grund herleiten könne, sie als Base anzusehen. Aber die Bräunung dieses Reagenspapiers durch Borsäure ist eine eigenthümliche Eigenschaft, und sie hat keine Aehnlichkeit mit der, welche durch alkalische Lösungen auf Curcumapapier hervorgebracht wird. Letztere Bräunung erfolgt nämlich unmittelbar nach dem Eintauchen des Papiers, ist dann sehr stark auch bei schwachen alkalischen Lösungen und entschieden braunroth, nimmt aber beim Eintrocknen einen anderen Ton an. Sie wird dann braun mit einem Stich ins Violette, und war die alkalische Lösung sehr schwach, so verschwindet sie nach dem Eintrocknen nach längerer Zeit fast ganz. — Diefß ist z. B. der Fall, wenn Curcumapapier in Kalkwasser getaucht worden. Die anfangs stark braunrothe Reaction ist nach 24 oder 36 Stunden gar nicht mehr sichtbar, und das Papier zeigt seine fast ursprüngliche Farbe. Die Bräunung hingegen, die durch eine wässerige oder spirituöse Lösung der Borsäure auf Curcumapapier hervorgebracht wird, ist besonders wenn das Papier nicht stark gefärbt ist, nach dem Eintauchen noch nicht zu bemerken und zeigt sich erst nach dem Eintrocknen. Sie ist dann schwach aber doch charakteristisch rothbräunlich.

Die schwach rothbräunliche Reaction wird aber auf eine auffallende Weise verstärkt, wenn die Lösung der Borsäure mit einer anderen Säure versetzt wird, und dann auf Curcumapapier eintrocknet. Alle Säuren haben diese Wirkung, doch weit mehr die stärkeren Säuren wie Chlorwasserstoffsäure, Salpetersäure, selbst auch Weinsteinsäure, besonders aber verdünnte Schwefelsäure, als die schwächeren Säuren wie Essigsäure, welche alle für sich ganz ohne Einwirkung auf Curcumapapier sind. Nach dem völligen Eintrocknen erscheint dann das Papier reiner und stark roth.

Dafs die Bräunungen des Curcumapapiers durch alkalische Lösungen und durch Borsäure in gar keiner Verbindung mit einander stehen, ergibt sich auch durch das Verhalten einer Boraxlösung gegen Curcumapapier. Dasselbe wird beim Eintauchen wie durch eine schwach alkalische Lösung sogleich braunroth, nach dem Eintrocknen bekommt die Farbe dann einen Stich ins Violette, nach längerer Zeit verschwindet sie ganz, oder hinterläfst eine höchst schwache durch Borsäure hervorgebrachte Reaction, die aber sehr schwach und nur bei grofser Aufmerksamkeit zu bemerken ist. Stärker und deutlicher tritt diese aber hervor, wenn eine Lösung des vierfach borsauen Natrons angewandt worden ist.

Die Boraxlösung verhält sich also gegen Curcumapapier beinahe wie eine schwache alkalische Lösung, wie z. B. Kalkwasser. Entsprängen die Färbungen des Curcumapapiers durch Borsäure und durch alkalische Lösungen aus einer ähnlichen Ursach, so müfste durch Boraxlösung eine verstärkte Wirkung hervorgebracht werden.

Die Reaction der Borsäure auf Curcumapapier durch eine Boraxlösung tritt aber im sehr verstärkten Maafse auf, wenn zu derselben eine Säure, namentlich eine stärkere, binzugesetzt worden. Sie erhält dann freilich einen von reiner Borsäure etwas verschiedenen Ton, kann aber mit grofsem Vortheil benutzt werden, um selbst kleine Mengen von Borsäure oder von einem borsauen Salze in einer Lösung zu entdecken.

Die Borsäure ist nicht die einzige Säure, welche gegen Curcumapigment sich eigenthümlich verhält. Titansäure, Tantalsäure, die Säuren des Niobs, Zinnsäure, Zirkonerde, (von welcher diefs Brush schon vor einiger Zeit bemerkt hat), zeigen in ihren Lösungen in starken Säuren ein ähnliches Verhalten; nur sind die meisten der durch diese Säuren hervorgebrachten Veränderungen des Curcumapapiers in etwas, doch nicht sehr bedeutend von denen durch Borsäure erzeugten, verschieden.

IV. *Ueber die elektromagnetische Wirkung volta-scher Ströme verschiedener Quellen; von W. Beetz.*

In den Mittheilungen der naturforschenden Gesellschaft in Bern ¹⁾ hat Hr. Hipp auf die Erscheinung aufmerksam gemacht, daß zwei gleich starke voltasche Ströme, deren einer von einer einpaarigen, der andere von einer vielpaarigen Batterie gleicher Einrichtung erregt wird, in verschiedener Art auf einen Eisenstab magnetisirend wirken, so zwar, daß der letztere den Magnetismus schneller hervorzurufen scheine, als der erstere. Diese Erscheinung wurde durch zwei Beobachtungsmethoden bestätigt. Bei der einen ging der Strom eines Elementes von großer Oberfläche durch ein Galvanometer und ein Relais. Die Relaisankerfeder wurde so stark gespannt, daß die Spannung dem Magnetismus beinahe das Gleichgewicht hielt. Wurde das Relais in gewöhnlicher Weise mit einem Morse'schen Schreibapparat verbunden, so konnte man in einer gegebenen Zeit höchstens 16 deutliche Punkte hervorbringen. Wurden statt des einen Elementes zwölf kleinere angewandt, welche die gleiche Ablenkung am Galvanometer gaben, so konnte man unter gleichen Umständen nun 26 Punkte hervorbringen. Die zweite Methode bestand darin, daß die Zeit, welche der Anker vom Momente der Stromschließung, bis zu dem Momente, in welchem er angezogen ist, brauchte, direct durch das Chronoskop gemessen wurde. Sie betrug bei Anwendung des einen Elementes 36, bei der von 12 Elementen 58 Tausendtheile einer Sekunde. Der mündlichen Mittheilung des Hrn. Hipp verdanke ich noch die weiteren Angaben, daß bei schwächerer Spannung der Relaisfeder dieser Unterschied immer unbedeutender wurde, und daß sich ein solcher in der Zeit des Losreifens des Ankers nicht zeigte.

1) 1855, S. 90.

Als Erklärung dieser Erscheinung ist mir nur die kurze Bemerkung bekannt, mit der Hr. Brix die Mittheilung der erwähnten Beobachtung begleitet hat ¹⁾, ob nämlich deren Grund nicht darin zu suchen sey, daß die beiden Ströme nach verschiedener Zeit, vielleicht in Folge der Polarisation, die gleiche Stärke annehmen.

Ich bestätigte zunächst das Vorhandenseyn des beobachteten Unterschiedes durch einen Versuch, welcher sich recht wohl zum Vorlesungsversuche eignet. Ein selbstunterbrechender Hammer, dessen Hammervorrichtung durch Einschieben einer Glasplatte festgestellt war, wurde in eine Leitung geschaltet, welche durch einen Commutator bald eine einfache Grove'sche Kette, bald eine Batterie aus sechs solchen Elementen und dazu so viel Widerstandsdraht aufnahm, daß eine ebenfalls in die Leitung eingeschaltete Spiegelbussole immer die gleiche Ablenkung zeigte. Die Entfernung der Bussole vom Hammer war groß genug, um keinen directen Einfluß des Hammermagnets auf die Stellung des Stahlspiegels zu erlauben. Jetzt wurde die Hemmung des Hammers fortgenommen, und der Spannfeder desselben eine solche Stellung gegeben, daß, wenn das eine Element wirksam war, ein tiefer, aber deutlich bestimmbarer musikalischer Ton entstand, dessen Wahrnehmbarkeit noch dadurch erhöht wurde, daß der Hammerapparat auf einem Resonanzboden befestigt war. Dann wurden durch Umsetzen des Commutators die sechs Elemente in Thätigkeit gebracht. Der Ton war in diesem Falle höher, als vorher, die Anzahl der Unterbrechungen also größer. Ferner wurden der Feder andere Stellungen gegeben, welche eine schnellere Unterbrechung erzeugten, als zuvor, und wurden jedesmal die beiden Töne aufgezeichnet, welche bei Einschaltung des einen und der sechs Elemente entstanden. Die, diesen Tönen entsprechenden Anzahlen von Unterbrechungen wurden mittelst eines Monochords und einer c tönenden Normalstimmgabel jedesmal

1) Zeitschr. f. d. deutsch-öster. Telegraphenverein. Daraus in Dingl. pol. Journ. CXLVI. 33. *

annähernd bestimmt. Als Beispiel der erhaltenen Ergebnisse führe ich die folgende Reihe an, in welcher ich der leichteren Uebersichtlichkeit wegen die musikalischen Bezeichnungen der Töne mit beigelegt habe.

1 Element	{	Ton <u>As</u> —	<u>A</u>	<u>H</u>	<u>C</u>	<u>Cis</u>	<u>D</u>	<u>Dis</u>
		Zahl 100	106	120	128	136	144	153
6 Elemente	{	Ton <u>As</u> +	<u>B</u>	<u>Cis</u> —	<u>D</u>	<u>Dis</u>	<u>F</u>	versagt
		Zahl 104	114	132	144	155	170	

Bei der letzten Federstellung hörte der Apparat zu arbeiten auf, wenn er durch sechs Elemente getrieben wurde.

Die vorstehende Reihe zeigt deutlich, daß der erwähnte Unterschied in der Geschwindigkeit der Ankerbewegung wirklich vorhanden ist, und daß er mit dem, der magnetischen Anziehung gebotenen Widerstande wächst. Wird der, in die sechspaarige Säule eingeschaltete Widerstand nicht, wie es bisher geschah, durch eine Widerstandsrolle, sondern durch einen langen, gespannten Draht gebildet, so findet trotzdem die gleiche, oder wenigstens fast gleiche, Beschleunigung der Ankerbewegung statt. Trotz dieser letzteren Beobachtung, welche dagegen zu sprechen scheint, ist die ganze Erscheinung durch die, bei den schnell aufeinander folgenden Schließungen erzeugten Inductionsströme bedingt.

Bei Gelegenheit des schon von W. Weber beobachteten Einflusses der Drehungsgeschwindigkeit einer magneto-elektrischen Maschine auf die Stromerregung hat Hr. Lenz¹⁾ die Ansicht aufgestellt, daß die Ursache der Nichtproportionalität des Wachstums der elektromotorischen Kraft und der Drehungsgeschwindigkeit solcher Maschinen nicht in der Trägheit des Eisens zur Annahme des Magnetismus ihren Hauptgrund habe, sondern in einer Rückwirkung des inducirten Stromes der Spiralen auf die inducirenden Eisencylinder, welche Ansicht er gegen die entgegengesetzte

1) *Bull. de St. Pétr. VII, p. 257**; *Pogg. Ann. LXXVI, S. 494.**

von Sinsteden ¹⁾ vertheidigt hat ²⁾). Im vorliegenden Falle kann an eine Veränderung der Coërcitivkraft des Eisens, in deren Folge dieselbe der Magnetisirung durch gleich starke Ströme deshalb verschiedenen Widerstand entgegengesetzt, weil sie von verschiedener Quelle herrühren, nicht wohl gedacht werden. Dagegen ist es klar, daß die Rückwirkung auf die Eisencylinder je nach der Natur dieser Quelle eine andere werden muß. Man übersieht das am leichtesten, wenn man den Gang der Inductionswirkung in der Weise verfolgt, wie es Hr. Koosen ³⁾, der sich der Ansicht von Lenz dem Hauptinhalte nach angeschlossen hat, in seiner Arbeit über die elektromagnetische Wirkung galvanischer Ströme von kurzer Dauer gethan hat.

Wenn man eine Kette durch einen um einen Eisenstab spiralförmig gewundenen Draht schließt, so kann man das Anwachsen des Stromes durch eine Curve darstellen, deren Abscissen der Zeit, deren Ordinaten der jedesmaligen Stromstärke in jedem Zeitmomente entsprechen. Wäre gar keine Induction vorhanden, so würde die magnetisierende Kraft des Stromes ausgedrückt seyn durch das Rechteck, dessen Grundlinie die Zeit t , während welcher der Strom geschlossen bleibt, dessen Höhe die constant bleibende Stromstärke darstellt. Der im Schließungsmomente eintretende Extracurrent, welcher dem Hauptstrom entgegengesetzt ist, bedingt aber den Gang der Curve so, daß sie sich asymptotisch der eigentlichen Stromstärke nähert, ohne sie je zu erreichen. Im Oeffnungsmomente nach der Zeit t soll nun eigentlich ein Extracurrent eintreten, welcher den der Schließung an Stärke gleich, aber dem Hauptstrome gleichgerichtet ist; dieser kommt aber nicht in Betracht, weil eben in diesem Momente die Leitung unterbrochen wird. Die Intensitätscurve fällt also senkrecht zur Abscissenaxe ab, und die, die magnetisierende

1) Pogg. Ann. LXXXIV, p. 181.*

2) Bull. d. St. Pétr. XII, p. 46; * Pogg. Ann. XCII, S. 128.*

3) Pogg. Ann. LXXXVII, S. 514.*

Kraft darstellende Fläche ist nunmehr eingeschlossen von der concaven Seite der Curve, der Abscissenaxe und der Ordinate für den Endpunkt von t . In unserem Falle muß also die anziehende Kraft des Elektromagnets um so größer seyn, je größer die Concavität der Curve, je kleiner also der Verlust ist, welcher durch das Flächenstück ausgedrückt wird, das zwischen der convexen Seite der Curve, der Senkrechten im Nullpunkt der Abscissen, und der durch den Endpunkt der Ordinate für t gelegten Parallelen zur Abscissenaxe liegt. Unter sonst gleichen Umständen ist aber die elektromotorische Kraft des Extracurrents der Schließung die gleiche, der ursprüngliche Strom mag durch ein oder durch sechs Elemente erregt seyn: im ersten Falle ist aber der, demselben gebotene, Widerstand erheblich geringer als im letzteren, das zu subtrahirende Flächenstück ist also im ersten Falle weit größer als im letzteren, und demnach ist der durch die einfache Kette erregte Elektromagnet kurze Zeit nach der Schließung wirklich schwächer als der durch die sechspaarige Säule erregte.

Um mich von dem Umfange dieser Einwirkung zu überzeugen, dabei aber von dem, immerhin sehr complicirten, Vorgange der Anziehung und Unterbrechung in einem selbstthätigen Hammer unabhängig zu bleiben, schaltete ich statt desselben ein durch ein Uhrwerk gedrehtes Zahnrad ein, an dessen Peripherie eine schleifende Feder in schneller Folge den Strom schloß und öffnete, und fügte außerdem eine kurze Spirale von drei Lagen 0,5 Millimeter dicken Kupferdraht in die Leitung. Der Widerstand der sechspaarigen Säule wurde wieder so abgemessen, daß, während das Rad stillstand, der Magnetspiegel der Bussole eben so stark abgelenkt wurde, wie durch den Strom der einfachen Kette. Jetzt wurde das Uhrwerk so in Bewegung gesetzt, daß der Strom 200 Mal in der Sekunde geschlossen und unterbrochen wurde. Durch den Commutator wurden dann abwechselnd das eine oder die sechs Elemente mit ihrem Widerstande eingeschaltet, und außer-

dem wurde in die Spirale bald ein weicher Eisenstab gelegt, bald wieder herausgenommen. Der Spiegel nahm unter den verschiedenen Umständen verschiedene Stellungen ein, oder vielmehr machte er kleine Schwankungen um einen der Theilstriche der Skala, welche durch das Fernrohr abgelesen wurde. Da die Versuche alle sehr ähnliche Resultate gaben, so führe ich nur folgendes Beispiel an:

	1 Element	6 Elemente
mit Eisenkern	2,5	5,8
ohne Eisenkern	6,2	7,5

Was hierbei zunächst die verschiedenen Ablenkungen betrifft, welche der Bussolspiegel bei Einschaltung von 1 bis 6 Elementen ohne Einführung des Eisenstabes zeigte, so darf man aus denselben noch nicht schliessen, daß schon der Unterschied in der Stärke des Stromes von erheblichem Einfluß sey, welcher von Windung zu Windung der Spirale ohne Beihülfe des Eisenmagnetismus inducirt wird. Die primäre Stromstärke erleidet vielmehr eine unmittelbare Veränderung. Wenn E die elektromotorische Kraft eines Elementes, R seinen wesentlichen Widerstand, r den Widerstand im übrigen Theile des Apparates bezeichnet, wenn nur eine Kette thätig ist, w denjenigen Widerstand, welcher noch den sechs Elementen geboten werden muß, so ist in der Rubestellung des Rades die Bedingung:

$$\frac{E}{R+r} = \frac{6E}{6R+r+w}$$

genügt. Rotirt aber das Rad, so wird jedesmal im letzten Momente, ehe die Feder einen Zahn verläßt, die Berührung zwischen Feder und Zahn in einer sehr kleinen Kante oder Spitze stattfinden, und dadurch ein Widerstand x hinzugefügt. Von jetzt an muß also

$$\frac{E}{R+r+x} < \frac{6E}{6R+r+w+x}$$

seyn. Der Unterschied der Ablenkungen 6,2 und 7,5 beweist also noch Nichts für die Inductionerscheinungen. Wohl aber treten diese sehr auffallend hervor, wenn sich durch Einlage des Eisenstabes die Ablenkung 6,2 bis auf

2,5; dagegen 7,5 nur bis auf 5,8 erniedrigt. Die Schwächung der Stromstärke durch die in der Leitung mit kleinem Widerstand, d. h. die von einer Kette herkommende Leitung, inducirten Gegenströme, und folglich die Schwächung des in diesem Falle vorhandenen Magnetismus des Eisenkerns ist also beträchtlich gröfser als die entsprechende Schwächung in dem Falle, in welchem die sechs Elemente mit ihrer langen Leitung eingeschaltet sind. Mit der Geschwindigkeit der Stromunterbrechungen wächst auch der Einfluss der Inductionsströme. Unter sonst gleichen Umständen erhielt ich folgende Ablenkungen, während der Eisenstab in der Spirale steckte:

	1 Element	6 Elemente
170 Unterbrechungen	1,2	2,6
250 "	0,5	2,4

während ohne Eisenstab die entsprechenden Ablenkungen waren:

2,5	3,4
2	3

Entsprechend zeigte sich dieser Einfluss, wenn die Stromwechsel wieder durch den selbstunterbrechenden Hammer hergestellt wurden. Die gleichzeitig eingeschaltete Bussole, deren Spiegel während der Sperrung der Hammervorrichtung durch ein oder sechs Elemente gleich stark abgelenkt war, zeigte während des Hammerganges folgende Ablenkungen:

1 Element	Ton	<u>F</u>	<u>A—</u>	<u>C</u>	<u>D</u>	<u>E</u>
	Abl.	2,6	3,2	3,4	3,6	4,2
6 Elemente	Ton	<u>Fis—</u>	<u>B</u>	<u>D+</u>	<u>F—</u>	<u>G</u>
	Abl.	3,7	4,5	5,4	5,7	6,7

Wurde der Widerstand, welcher den sechs Elementen geboten werden musste, so gewählt, dass nicht die continuirlichen Ströme der einpaarigen und der sechspaarigen Batterie, sondern die Ströme, welche beide bei 200 Unterbrechungen mit Einlage des Eisenstabes in die Spirale gaben, gleich waren, nämlich gleich 3,8, so bewirkte das

Herausziehen des Stabes ein Hinaufgehen der Ablenkung bis auf 8,1 bei einem Element, dagegen nur bis auf 4,1 bei sechs Elementen.

Dafs alle diese Erscheinungen wesentlich der Induction zuzuschreiben sind, welche das Entstehen des Magnetismus im Eisenkerne bedingt, und sehr wenig der unmittelbaren Wirkung von Drahtwindung zu Drahtwindung, zeigt die, schon von Hrn. Hipp beobachtete Erscheinung, welche ich bestätigt fand, dafs es so gut wie gleichgültig ist, ob der Widerstand, der den sechs Elementen geboten wird, durch eine Spirale, oder einen gerade gespannten Draht dargestellt ist. Ich erhielt bei Einschaltung des Unterbrechungsrades und des Hammermagnets, während in allen Fällen die Stärke des continuirlichen Stromes die gleiche war, die Ablenkungen

von einem Element	2,2
von sechs Elementen mit Spiralwiderstand	2,65
„ „ „ „ gespanntem Draht	2,7.

Betrachten wir jetzt genauer den Vorgang während einer einzelnen Ankeranziehung. In Fig. 6, Taf. V sind die Zeiten, vom Momente der Stromschliessung an gerechnet, wieder als Abscissen aufgetragen. Wenn keine Induction vorhanden wäre, so würde der Strom sogleich seine ganze Stärke AB erreichen, und in der Zeit $t = AC$ eine magnetische Wirkung haben, welche durch das Rechteck $ABCD$ gemessen wird. Ist dagegen eine Inductionswirkung vorhanden, so ist die magnetisirende Kraft des Stromes gemessen durch die Figur zwischen der Abscissenaxe AC , der Ordinate DC und der oben besprochenen Inductionscurve. Diese Curve beginnt um so flacher, je stärker der Extracurrent der Schliessung ist; sie mag z. B. die Gestalt AEF haben, wenn die Magnetisirung durch ein Element geschah, also dem Gegenstrom wenig Widerstand geboten ist, dagegen die Gestalt AGD , wenn n -Elemente wirksam waren, also der Inductionsstrom vielen Widerstand zu erleiden hat. In jedem Momente ist der magnetische Zustand des Eisenkerns dargestellt durch die be-

treffende Ordinate. Es ist z. B. nach der Zeit AK für ein Element $= KE$, für n -Elemente $= KG$. Wenn nun eine Spannfeder der magnetischen Anziehung entgegenwirkt, so kann sich der Anker nicht eher in Bewegung setzen, als bis der Magnetismus des Eisenkerns die Spannkraft der Feder überwiegt. Halte diese der magnetisirenden Kraft AN das Gleichgewicht, und sey der Strom durch n -Elemente erregt, so ruht der Anker während der Zeit AP . Dann beginnt eine Bewegung, welche dem Flächenstück entspricht, der durch die Curve DGO , die Ordinate OP , die Abscissenaxe und noch eine Ordinate eingeschlossen ist, welche letztere, etwa DC , durch die Entfernung des Ankers vom Magnet bestimmt ist. Ist dagegen der Strom durch ein Element erregt, so ruht der Anker, bis die magnetisirende Kraft die Gröfse $KE = AN$ erreicht hat, also während der Zeit AK ; dann beginnt die Bewegung entsprechend dem Flächenstück zwischen der Curve LFE , der Ordinate EK , der Abscissenaxe, und noch einer Ordinate, etwa RQ . Die Zeit, welche vom Momente der Stromschliessung bis zu dem der Ankeranziehung verflossen ist, ist also gröfser bei Anwendung eines Elementes, als bei der von n -Elementen; im ersteren Falle nämlich gleich AC , im letzteren gleich AQ . Wird die Feder stärker gespannt, etwa so, dafs sie der magnetischen Kraft AM das Gleichgewicht hält, so ruht der Anker bei Anwendung der n -paarigen Säule bis zur Zeit K , bei der einpaarigen bis C , er gelangt deshalb im letzteren Falle, etwa bei LS , viel später zur Anziehung, als im ersteren, etwa bei RQ , und man sieht unmittelbar aus der graphischen Darstellung, dafs dieser Zeitunterschied QS um so gröfser seyn mufs, je gröfser die Spannkraft der Feder (gleich AM) ist. Wenn die Spannfeder nahezu dem vollen Magnetismus des Eisenkerns das Gleichgewicht hält, so dafs also AM fast gleich AB ist, so können die Flächenstücke zwischen den Geraden BL , und einerseits der Ordinate TG und der Curve DG , andererseits der Linie DF und der Curve FL gleichgesetzt werden, und der Abstand QS wird gleich KC .

Wenn also Hr. Hipp bei seinen Versuchen mit einem Element die Anziehungszeit gleich 58, mit 12 Elementen gleich 36 tausendtel Sekunden fand, so muß der durch ein Element hervorgerufene Inductionsstrom noch 22 tausendtel Sekunden später, als der durch 12 Elementen erregte dem Magnetismus die Größe KG zukommen liefs, von so merklicher Wirksamkeit seyn, daß erst nach dieser Zeit der Magnet die Stärke $FC = KG$ erreicht.

Um mich über die Möglichkeit dieser Thatsache zu unterrichten, suchte ich mir ein genaueres Bild jener Inductionscurven zu verschaffen; das dazu angewandte Verfahren war folgendes: Nach dem Vorschlag, den Hr. Prof. Poggendorff ¹⁾ für das Studium geschlossener Elektromagnete gemacht hat, wurden auf die beiden 3 Zoll langen Schenkel eines hufeisenförmigen Elektromagnets zwei möglichst gleiche, von einander gesonderte Spiralen aus dickem Kupferdraht geschoben. Durch eine derselben wurde der Strom einer Batterie geschlossen, und dann der Strom gemessen, welcher durch den entstehenden Magnetismus in der anderen Spirale inducirt wurde, und zwar fand diese Messung in verschiedenen Zeiten nach der Stromschliessung statt. Zu dem Ende wird auf die Axe einer Rotationsmaschine ein aus zwei gesonderten Elfenbeinstücken AB und BC (Fig. 7, Taf. V) bestehender Cylinder befestigt; der Cylinder BC sitzt auf der Axe fest, AB läßt sich leicht gegen BC drehen, wenn er nicht durch die Schraube D daran festgezogen wird. Die Drehung wird durch eine Kreistheilung am unteren Rande von AB , und eine Marke am oberen von BC gemessen. In den oberen Rand von AB und den unteren von BC ist je ein Messingring eingelassen; von jedem derselben ragt noch ein Fortsatz in die freigebliebene Elfenbeinfläche hinein, dessen Breite 10° der Cylinderfläche einnimmt. Außerdem sitzt noch ein gezahntes Rad R auf der Axe fest. Auf der Cylinderfläche schleifen vier Federn, deren zwei, a und b , mit den Enden der primären Leitung, welche die eine Spirale und

1) Pogg. Ann. LXXXV. 147. *

die Batterie einschließt, die anderen zwei, *c* und *d*, mit den Enden der secundären Leitung, welche die andere Spirale und die Spiegelbussole *S* einschließt, verbunden sind.

Die erstere Leitung hat noch eine Unterbrechungsstelle bei *F*, welche durch Niederdrücken eines in Quecksilber tauchenden Tasters geschlossen werden kann. Um zuerst den Inductionsstrom unmittelbar bei der Schließung zu messen, werden die beiden Cylinderstücke so gestellt, daß *b* und *c* gleichzeitig die Anfänge der in das Elfenbein gelassenen schmalen Messingsstücke berühren. Dann wird der Apparat in Rotation gesetzt, bis eine, gegen die Zähne des Rades *R* schleifende Feder *e* beständig einen, durch eine Stimmgabel immer wiederzufindenden Ton giebt. Dann wird die Bussole beobachtet und *F* herabgedrückt. Sobald die Feder *b* zum ersten Male nach der Schließung von *F* über die Metalleinlage geht, wird der Hauptstrom geschlossen. Er würde aber sogleich wieder geöffnet werden, und dadurch einen umgekehrten Inductionsstrom erzeugen. Deshalb befindet sich unter dem einen Pole des vertical befestigten Magnets ein kleiner Eisenanker, welcher sich um eine Axe leicht drehen kann, und die beiden, mit einander verbundenen Drähte *f* und *g* trägt, deren jeder in ein mit Quecksilber gefülltes Näpfchen tauchen kann. Der Draht *f* bleibt ein für alle Mal eingetaucht und hält durch sein Anliegen an der Wand des Näpfchens den Anker in der gezeichneten Stellung sehr nahe unter dem Magnetpol; *g* dagegen taucht nur dann in das Quecksilber, wenn der Strom geschlossen ist, und der Magnet den Anker angezogen hat. Von dem zu *f* gehörenden Näpfchen geht eine Leitung zu dem nach *a*, von dem zu *g* gehörigen eine andere zu dem nach *b* führenden Draht. Sobald nun *b* die Metalleinlage zum ersten Mal nach der Schließung bei *F* berührt, wird der Anker, dessen Gewicht durch das der Drähte *f* und *g* beinahe aufgehoben ist, plötzlich angezogen, und der Strom zwischen diesen Drähten geschlossen. Der Magnet bleibt also Magnet, auch

wenn b die Einlage verlassen hat, und zwar ist seine Stärke so gut wie unverändert geblieben, wenn nur der Widerstand der zum Rotationsapparat führenden Leitungen nicht beträchtlich ist gegen den Gesamtwiderstand. Durch diese Vorrichtung ist also das Entstehen jedes zweiten Inductionsstromes vermieden, der Spiegel geht auf 0 zurück, und bleibt dort ruhig stehen, auch wenn die Drehung des Apparates fortgesetzt wird. In den vorläufigen Versuchen, welche ich für die vorliegenden Untersuchungen als ausreichend betrachtete, liefs ich die Axe in der Sekunde vier Umgänge machen. Der Inductionsstrom bleibt also immer, da die Einlage eine Breite von 10° hatte, während 0,0069 Sekunden geschlossen, und zwar während der ersten 0,0069 Sekunden nach Schließung des Hauptstromes, wenn beide Metalleinlagen gerade über einander stehen, während der zweiten 0,0069 Sekunden, wenn das obere Cylinderstück um 10° gedreht ist u. s. w. Auf diese Weise werden die einzelnen Theile der Curven in ähnlicher Art bekannt, wie Hr. Lenz ¹⁾ die Inductionscurven für magnetoelektrische Maschinen aufsuchte. In die secundäre Leitung wurde bald kein weiterer Widerstand, bald der von einer Viertelstunde oder mehren Viertelstunden schweizerischen Telegraphendrahts eingeschaltet. Die an der Bussole abgelesenen Ablenkungen waren folgende.

Drehung	nach	Widerstand in Viertelstunden				
		0	1	2	3	10
0°	0 Sek.	32,5	8,1	5	2,2	0,6
5	0,0035	8,2	2,2	1,2	0,8	0,3
10	0,0069	4,0	0,8	0,7	0,6	0,2
20	0,0139	1,5	0,6	0,4	0,3	0,15
30	0,0208	0,9	0,5	0,3	0,2	0,1
50	0,0347	0,4				0,04
80	0,0555	0,3				0,03
120	0,0833	0,2				0,01
340	0,2360	0,05				0

In dieser Tabelle finden die oben entwickelten Ansichten ihre volle Bestätigung. Die Steilheit der Inductions-

1) a. a. O.

curven bei ihrem Anfange nimmt sehr schnell zu, wenn dem Inductionsstrome mehr Widerstand gegeben wird. Wenn die beiden in Fig. 6, Taf. V gezeichneten Curven den Widerständen 0 und $\frac{1}{4}$ Stunde entsprechen, (welcher Widerstand ungefähr der war, den ich bei den oben beschriebenen Versuchen den sechs Elementen bieten mußte) so würde, wenn die Abscisse AK die Zeit 0,0069 Sekunden darstellt, das Flächenstück $BAET = 32,5$, $BAGT$ aber vergleichsweise nur $= 8,1$ seyn. Stellt KU wieder die gleiche Zeit dar, so ist weiter $TEWH = 4,0$, aber $TGVH = 0,8$ u. s. f. Werden die beliebig gewählten Abscissen sehr klein genommen, so daß die zwischen je zwei Ordinaten liegenden Trapeze recht schmal werden, so können diese Zahlenwerthe gleich für die Ordinatengrößen selbst gelten; dann sieht man aus der Tabelle, daß die obere Curve den Werth 8,1 ungefähr 0,0035 Sekunden, den Werth 0,8 dagegen ungefähr 0,015 Sekunden früher erreicht, als die untere. Die Curve für den Widerstand 10 Viertelstunden erreicht den Werth 0,3 um 0,052 Sekunden früher, als die für den Widerstand 0. Vermag die Spannfeder einer magnetischen Anziehung, welche der Zahl 8,1 entspricht, das Gleichgewicht zu halten, so erfolgt die Ankeranziehung bei einem Widerstand $= 0$ (immer nach Abrechnung der Umwindungen des Magnets) etwa 0,0035 Sekunden früher, als bei dem von einer Viertelstunde Draht. Ist die Feder aber so gespannt, daß sie nur dem der Zahl 0,8 entsprechenden Magnetismus das Gleichgewicht hält, so beträgt der Anziehungsunterschied 0,015 Sekunden. Bei noch größeren Widerständen, welche durch vielpaarige Säulen nothwendig werden, ist dieser Unterschied viel beträchtlicher.

Es fragt sich nun noch, was für magnetische Kräfte sind es, absolut genommen, welche hier in Rede stehen? Um diese Frage zu beantworten, mußte der Hauptstrom selbst gemessen werden, wenn er 0,0069 Sekunden lang geschlossen wurde. Hierdurch wird das Stück AEK bestimmt, wenn den Windungen kein weiterer Widerstand

hinzugefügt wird. Die Windungen der Spiegelbussole mußten weiter vom Spiegel entfernt werden; durch Vergleichung der in den verschiedenen Stellungen stattfindenden Wirkungen fand sich diese Stromstärke, d. h. die volle Stromstärke minus dem gleich anfangs eintretenden Inductionsstrom $= 467,7$ das ganze Stromelement also ungefähr $= 500$. Wäre die Anziehungskraft des Magnets, welche dieser ganzen Stromstärke entspricht $= 2$ Kilogramm, so ist die der Stromstärke 0,8 entsprechende immer noch $= 3,2$ Grm. Der Anziehung $2000 - 3,2 = 1996,8$ Grm. müßte also die Spannfeder das Gleichgewicht halten, um die Anziehung in dem so eben besprochenen Falle um 0,015 Sekunden zu verzögern.

Die hier angeführten Zahlen können natürlich nur den Werth von Beispielen haben, beweisen aber hinreichend, wie bedeutende Zeitunterschiede in der Ankeranziehung bei Anwendung gleich starker Ströme verschiedener Quellen sich durch die dabei auftretenden Inductionsströme erklären lassen.

Hr. Hipp hat seiner oben angeführten Mittheilung die Bemerkung hinzugefügt, daß die Nichtübereinstimmung mehrer mit seinem Chronoskop ausgeführter Messungen ihren Grund in der Nichtbeachtung des besprochenen Unterschiedes haben dürfte. Ebenso hat Hr. Koosen¹⁾ schon früher bemerkt, daß man bei Anwendung elektromagnetischer Chronoskope immer auf Schwierigkeiten stößt, welche in der Induction ihren Grund haben. Wer einmal ein solches Instrument besitzt, und weiter beutzen will, dem ist der Rath zu ertheilen, seiner Batterie einen möglichst großen Widerstand, und dafür eine so große elektromotorische Kraft zu geben, daß der Magnet seine nöthige Stärke erreicht. Am besten aber hat Hr. Hipp selbst alle aus der Induction hervorgehenden Schwierigkeiten bei seinem Chronographen vermieden, indem er zur Bezeichnung des Anfanges, wie des Endes des kleinen, zu messenden,

1) a. a. O.

Zeitraumes nur die Losreißung des Ankers vom Magnete benutzte ¹⁾).

Bern, im November 1857.

V. *Vom Einfluß der Temperatur auf die Erscheinungen im Haarröhrchen; von C. Wolf.*

(Schluß der in Bd. 101, S. 576 abgebrochenen Abhandlung.)

Sind diese Verificationen einmal gemacht, so bringt man das untere Ende des Stifts in vollkommenen Contact mit der Flüssigkeit. Diese Gewißheit des Contacts ist beim Wasser und bei anderen das Metall benässenden Flüssigkeiten schwieriger zu erlangen als beim Quecksilber. Ich habe oft versucht, das Ende des Stifts einzufetten, aber umsonst; immer haftete diese Flüssigkeit am Metall und in sehr unregelmäßiger Weise. Für das Quecksilber hat man zu diesem Behufe vorgeschlagen, die Flüssigkeit und den Metallstift nebst einem sehr empfindlichen Galvanometer in eine elektrische Kette einzuschalten, so daß, wenn der Stift mit der Flüssigkeit in Berührung kommt, ein Strom entsteht und der Beginn der Ablenkung der Nadel den Moment der Herstellung des Contactes anzeigt. Um die Genauigkeit dieses Vorschlages beim Wasser zu prüfen, bediente ich mich als Contactspitze der Spitze eines Sphärometers, das leicht 0,001 Millimeter angiebt; immer fand ich aber das Verfahren wenig empfindlich, indem sich die Nadel erst lange nach erfolgtem Contact in Bewegung setzte. Diese Unempfindlichkeit entspringt aus mehreren Ursachen, zunächst aus der Masse der Nadel, die der Wirkung des

- 1) Die Beschreibung dieses Apparates, von dessen bequemer und sicherer Anwendbarkeit mich zu überzeugen ich vielfach Gelegenheit hatte, ist noch nicht veröffentlicht. Derselbe war aber auf der diesjährigen schweizerischen Industrierausstellung bereits ausgestellt.

Stroms erst einige Zeit nachdem sie angefangen hat sich fühlbar zu machen gehorcht, dann vor allem aus der Nicht-Leitungsfähigkeit des reinen Wassers, die nur dann eine hinlängliche Intensität des Stromes zulässt, wenn die Berührungsfläche eine gewisse Gröfse hat. Versucht man diesem Uebelstand durch Anwendung einer intensiveren Elektrizitätsquelle abzuhelfen, so erlaubt die Zersetzung des Wassers nicht mehr constante Resultate zu erhalten. Ich bin daher zum einfachsten Verfahren zurückgekehrt, und habe gesehen, dafs, wenn man dem Sphärometer eine konische, am Ende kaum abgestumpfte und recht trockne Spitze giebt, man die Berührung bis nahe auf 0,001 Millimeter bringen kann. Die Nothwendigkeit, das Ende der berührenden Spitze jedesmal mit einem Pinsel zu reinigen, macht die Anwendung einer Schraube sehr unbequem. Ich habe es vorgezogen, diesen Stift mittelst eines sehr sanften Getriebes zu bewegen, und habe mich überzeugt, dafs unter diesen Bedingungen die Berührung nicht um 0,01 Millimeter schwankt, eine Genauigkeitsgränze, die mir mein Kathetometer anzugeben vermochte.

Um diese äufserste Genauigkeitsgränze zu erreichen, mußte ich noch einige Vorsichtsmaafsregeln befolgen. Mit welcher Sorgfalt der Mechanikus auch das Kathetometer verfertigt haben mag, so ist es doch fast unmöglich, dafs die Axe des Fernrohrs in allen Azimuthen eine genau horizontale Lage behalte; es ist daher wichtig, das Fernrohr bei den Beobachtungen nur einen sehr kleinen Winkel beschreiben zu lassen; diese Bedingung wird bei meinem Apparat erfüllt. Ueberdies erleidet das Fernrohr, wenn man den dasselbe tragenden Schlitten mit der Hand bewegt, in seiner Lage immer kleine Störungen, welche man vor jeder Beobachtung berichtigen muß, dadurch dafs man die Blase des Niveaus in ihre centrale Lage bringt. Allein diese Störungen werden fast unmerklich, meistens Null, wenn man dem Schlitten die lothrechte Bewegung mittelst einer Stellschraube ertheilt. Ich habe daher bei allen meinen Beobachtungen als berührenden Stift eine Metallstange

angewandt, die an Höhe fast der zu messenden Capillarsäule gleich war. Dadurch konnte man dem Fernrohr die nöthige Bewegung, um aus der ersten Lage in die zweite zu kommen, mittelst der Stellschraube geben und die Horizontalität des Niveaus fand sich bewahrt. Die Länge des Berührungsstiftes ward übrigens fast jeden Tag vor jeder Beobachtungsreihe gemessen, und niemals stiegen, Dank den angezeigten Vorsichtsmafsregeln, die Schwankungen bei der Messung auf mehr als ein Hundertel-Millimeter.

Die Verdampfung des Wassers endlich war fast vollständig vernichtet durch Glasplatten, welche das Gefäfs bedeckten und nur ein Loch zur Durchlassung des Berührungsstiftes besaßen. An jedem Tage wurde das Wasser in der Röhre und in dem Gefäfs erneut. Immer arbeitete ich mit luftfreiem Wasser ¹⁾.

Der soeben beschriebene Apparat hat mir zunächst zu Beobachtungen in gewöhnlichen Temperaturen gedient, so dafs ich im Laufe eines Jahres eine sehr vollständige Reihe von Höhen, entsprechend Temperaturen von 0° bis 25° C., erhalten konnte. Alle diese Beobachtungen wurden zu 18 Gruppen vereint, von denen jede die zu einem gleichen Intervall von 1° gehörigen Höhen umfasste; ich berechnete die mittlere Temperatur und die mittlere Höhe jeder dieser Gruppen. Diese Mittel sind in den ersten beiden Columnen der folgenden Tafel enthalten. Ich habe übrigens an den direct erhaltenen Zahlen niemals die übliche Berichtigung von einem Drittel-Radius angebracht, aus dem Grunde, weil diese Berichtigung sich auf die als falsch erkannten Theorien von Jurin und Clairault stützt, und weil in den richtigen Theorien die Gesetze direct für die Ordinate des tiefsten Punktes des Meniscus gelten.

- 1) Um ein von Luft möglichst vollkommen befreites Wasser zu erhalten, kochte ich diese Flüssigkeit in einem grossen Ballon, versehen mit einem zwei Mal gekrümmten Rohr, welches in einem zweiten, kleineren Ballon tauchte, der ebenfalls siedendes Wasser enthielt. Wenn die Dampfblasen sich nur stofsweise entwickelten, nahm ich den Ofen fort; das siedende Wasser des kleineren Ballons füllte dann den gröfseren vollständig, und man liefs den Apparat ruhig stehend erkalten.

Durchmesser der Röhre . . 0^{mm},2346.

Tempera- turen	Höhen		Unter- schiede	Berechnete Höhen	Unter- schiede
	beobachtet	berechnet			
0,35	132,15	132,17	+ 0,020	132,17	+ 0,020
1,268	131,97	131,94	— 0,030	131,93	— 0,040
2,62	131,569	131,583	+ 0,014	131,57	+ 0,001
3,61	131,34	131,33	— 0,010	131,31	— 0,030
4,32	131,145	131,140	— 0,005	131,13	— 0,015
5,587	130,82	130,81	— 0,010	130,80	— 0,020
7,50	130,28	130,31	+ 0,030	130,30	+ 0,020
8,35	130,10	130,09	— 0,010	130,07	— 0,030
13,76	128,68	128,68	0,000	128,70	+ 0,020
14,335	128,547	128,556	+ 0,009	128,56	+ 0,013
15,49	128,273	128,273	0,000	128,27	— 0,003
16,896	127,93	127,917	— 0,003	127,93	0,000
17,43	127,84	127,80	— 0,040	127,80	— 0,040
18,40	127,61	127,56	— 0,050	127,56	— 0,050
20,26	127,03	127,10	+ 0,070	127,10	+ 0,070
21,475	126,80	126,85	+ 0,050	126,80	0,000
24,417	126,09	126,13	+ 0,040	126,09	0,000
25,446	125,84	125,83	— 0,010	125,84	0,000

Construirt man die Curve, welche die Temperaturen zu Abscissen, und die entsprechenden Höhen zu Ordinaten hat, so sieht man sogleich, daß sie wesentlich von der geraden Linie abweicht, indem die Ordinaten von 0° bis 8° rascher abnehmen als bei höheren Temperaturen. Allein in diesen beiden Intervallen kann man jedes Stück der Curve als eine gerade Linie betrachten. Ich habe dieß benutzt, um das empirische Gesetz der Erscheinung zu bestimmen.

Zuvörderst berechnete ich für jedes dieser beiden Intervalle die Coëfficienten einer Gleichung von der Form $y = ax + b$, und ließ bei der Bestimmung von a und b alle Beobachtungen auf eine sehr einfache Weise mitwirken. Die Zahlen in der dritten Columnne der vorstehenden Tafel zeigen zwischen den Resultaten der Erfahrung und denen der Rechnung einen vollen Einklang. Von 0° bis 8° gebrauchte ich die Formel:

$$y = 132,265736 - 0,260553x,$$

und von 13° bis 25° die:

$$y = 132,0785 - 0,245699x.$$

Diese ersten Formeln dienten mir zur Berechnung der den Graden 0, 5 und 15 entsprechenden Höhen, und mittelst dieser bestimmte ich die Coëfficienten einer parabolischen Formel: $y = a + bx + cx^2$.

Dadurch gelangte ich zu der Gleichung:

$$y = 132,265736 - 0,2660448x + 0,00054918x^2,$$

welche alle Beobachtungen von 0° bis 25° auf eine hinreichend genaue Weise wiedergibt. Die Zahlen der vierten Columne sind aus dieser Formel abgeleitet und, wie man sieht, sind die Unterschiede zwischen Rechnung und Beobachtung bald positiv, bald negativ, und überschreiten nur ein einziges Mal 0^{mm},05.

Die Resultate stimmen mit denen des Hrn. Brunner überein, bis auf den Unterschied, daß die raschere Höhen-Abnahme, welche dieser Physiker unterhalb 4° beobachtet hat, sich noch darüber fortzusetzen scheint. Das Dichtigkeitsmaximum hat also Einfluß auf die Erscheinung; allein andere Ursachen, die im umgekehrten Sinne wirken, treten dazwischen, so daß er kaum wahrnehmbar wird. Wenn meine Beobachtungen richtig sind, so folgt noch, daß die Erklärung, welche Hr. Brunner von dem raschen Anwuchs der Capillarhöhe unterhalb 4° gegeben hat, nicht hinlänglich ist, weil dieser Anwuchs schon oberhalb dieser Temperatur stattfindet und deshungeachtet die Dichte der Flüssigkeit noch nicht abnimmt,

Oberhalb 10° stellt sich die Uebereinstimmung meiner Resultate mit denen des Hrn. Brunner wieder her. Denn wenn man die von ihm gegebene Formel:

$$h = 15,33215 - 0,0286396t$$

vergleicht mit der, deren ich mich von 13° bis 25° bedient habe, so findet man das Verhältniß der numerischen Coëfficienten in Brunner's Gleichung = 535,383, und in der meinigen = 537,56. Sucht man nach den von mir angeführten Versuchen die Capillarhöhe bei 0° in einer Röhre von 1 Millimeter Radius, so findet man 15^{mm},5331, statt der von Hrn. Brunner erhaltenen 15^{mm},33215. Aber diese Uebereinstimmung findet keineswegs mit den von Simon

gegebenen Höhen statt; denn hier ist das Product der Capillärhöhe in den Durchmesser der Röhre 31,029, während die Simon'sche Tafel für diesen Durchmesser das viel stärkere Product 32,375 giebt. Die von diesem Physiker erhaltenen Höhen der Wassersäulen scheinen also zu groß zu seyn, wie das schon von Mehren bemerkt worden ist.

Es wäre interessant, die Versuche unterhalb 0° fortzusetzen, und dies würde, glaube ich, leicht gelingen, da das Wasser nur schwer in Capillarröhren gefriert, wenn man den Wasserstrom durch einen Strom kalten Alkohols ersetzt. Allein ich muß bemerken, daß in niederen Temperaturen die Schleimigkeit des Wassers schon sehr merklich ist, und daß die Versuche viel schwieriger, folglich weniger genau sind als bei höheren Temperaturen. Diese Schleimigkeit würde hinreichen, die Verschiedenheit zwischen Hrn. Brunner's und den meinigen zu erklären. Aus diesem Grunde, habe ich nicht gesucht, unterhalb 0° Höhen zu messen, da ich doch keine hinlänglich genaue Resultate zu erhalten hoffen konnte.

Derselbe Apparat war auch für höhere Temperaturen als die gewöhnlichen brauchbar, wenn man die Hülle des Gefäßes und die Hülse einen, bis zu einer constanten Temperatur erhitzen, Wasserstrom durchstreichen ließ. Um diesen Wasserstrom zu erhalten, schaltete ich zwischen den Behälter und den Apparat einen Glasballon ein, in welchen das Wasser durch eine bis zum Boden hinabreichende Röhre eintrat, während es durch eine andere Röhre, die nicht die Unterseite des Propfens überragte, wieder ausfloß. Dieser Ballon wurde durch eine Alkohollampe mit doppeltem Luftzug erhitzt. Da das Wasser sehr rasch floß, so stieg die Temperatur des Gefäßes und der Hülse und erreichte bald einen constanten Werth, der jedoch von einem Versuch zum andern, je nach der Temperatur des Wassers im Behälter und nach der Intensität der Wärmequelle verschieden war. Freilich war die Temperatur der Hülse gewöhnlich etwas verschieden von der des Wassers in dem unteren Gefäß; allein dieser Unterschied stieg niemals über 1 bis 2 Grad,

und, wie ich gezeigt habe, ist der Einfluß eines solchen Unterschiedes ganz unmerklich. Man hätte auch fürchten können, daß die Temperatur nicht gleich sey in den verschiedenen Schichten der Hülse; allein ich habe mich durch mehr oder weniger tiefes Versenken des Thermometers oft überzeugt, daß die Verschiedenheit nicht wahrnehmbar ist. Ueberdies habe ich bei jeder Temperatur eine doppelte Beobachtung gemacht, indem das Wasser erstlich aus dem Gefäß in die Hülse, und dann umgekehrt aus der Hülse in die Hülle des Gefäßes floß; in beiden Fällen erhielt ich immer dieselben Höhen.

Diese Versuche machte ich mit einer anderen Röhre als vorhin, von anderem Glase und von anderem Durchmesser ($0^{\text{mm}},3098$), und sie bedurfte keiner Waschung, da sie neu war. Leider konnten sie nur zu einer Zeit unternommen werden, da die Temperatur der Umgebung über 4° war; sie können also nicht dazu dienen, das Gesetz in der Nähe des Maximums der Wasserdichtigkeit zu bestätigen. Die erhaltenen Resultate lassen sich durch die lineare Gleichung

$$y = 101^{\text{mm}},80346 - 0,184966x$$

sehr gut darstellen, wie aus folgender Tafel hervorgeht:

Temperatur	Höhe		Unterschied	Temperatur	Höhe		Unterschied
	beob.	berech.			beob.	berechn.	
°	mm	mm		°	mm	mm	
5,73	100,729	100,744	+ 0,015	24,59	97,220	97,250	+ 0,030
6,588	100,586	100,585	— 0,001	25,255	97,265	97,130	— 0,135
7,505	100,395	100,415	+ 0,020	26,582	96,950	96,890	— 0,060
8,57	100,224	100,218	— 0,006	27,26	96,740	96,760	+ 0,020
9,545	99,985	100,038	+ 0,043	28,66	95,440	96,500	+ 0,060
10,601	99,816	99,843	+ 0,027	32,39	95,875	95,810	— 0,065
11,625	99,510	99,650	+ 0,140	34,24	95,490	95,470	— 0,020
12,51	99,495	99,490	— 0,005	36,43	95,055	95,060	+ 0,005
13,685	99,180	99,270	+ 0,090	39,376	94,540	94,520	— 0,020
15,45	98,945	98,945	0,000	45,264	93,430	93,430	0,000
16,45	98,790	98,760	— 0,030	51,486	92,275	92,280	+ 0,005
17,42	98,566	98,580	+ 0,014	54,456	91,755	91,730	— 0,025
18,61	98,327	98,360	+ 0,033	58,75	90,891	90,930	+ 0,039
19,326	98,229	98,229	0,000	61,83	90,350	90,360	+ 0,010
20,38	97,964	98,034	+ 0,070	65,00	89,685	89,780	+ 0,095
21,426	97,830	97,748	— 0,082	82,27	86,085	86,470	+ 0,385
22,558	97,607	97,680	+ 0,073				

Einige, durch künstliche Erkaltung des Wassers in der Hülse, unterhalb 4° gemachte Beobachtungen zeigten eine raschere Zunahme der Höhe an als oberhalb dieser Temperatur; die erhaltenen Werthe gaben nämlich $102^{\text{mm}},058$ Höhe bei 0° statt $101^{\text{mm}},803$. Allein man kann ihnen, wegen der Schwierigkeit der Beobachtungen, nicht viel Vertrauen schenken, da die Glasplatten sich beständig mit Thau beschlugen.

Vergleicht man diese Resultate mit denen des Hrn. Brunner und mit den von mir bei der ersten Röhre erhaltenen, so erblickt man eine merkwürdige Verschiedenheit, obwohl das allgemeine Gesetz der Erscheinung noch dasselbe bleibt. Während nämlich das Verhältniß der Coëfficienten in den zwei ersten Formeln, die ich anführte, 535 oder 537 ist, erreicht es hier den Werth 550,3, so daß das Verhältniß zwischen den in jeder dieser Röhren gehobenen Säulen mit der Temperatur variirt. Ueberdies würde die Höhe bei 0° in der Röhre von 1 Millimeter Radius hier $15^{\text{mm}},77$ oder $15^{\text{mm}},81$ seyn, je nachdem man $101^{\text{mm}},80$ oder $102^{\text{mm}},058$ als Höhe in der Röhre von $0^{\text{mm}},3098$ Durchmesser annimmt, ein Werth viel größer als die, welche wir schon gefunden haben. Indefs erreicht dies Resultat noch lange nicht das von Simon, denn das Product des Durchmessers in die Höhe ist 31,538 oder 31,617, während es nach Simon etwas größer als 32,13 seyn würde.

Die Prüfung der vorstehenden Tafel zeigt auch, daß bei Temperaturen über 60° die Unterschiede zwischen Rechnung und Beobachtung sehr zunehmen. Allein dieses entspringt daraus, daß die Beobachtung nicht recht genaue Resultate geben kann. Zu der Schwierigkeit nämlich, während der Dauer des Versuchs eine constante Temperatur zu erhalten, gesellt sich noch eine andere, aus der Verdampfung der Flüssigkeit im Gefäß entspringende, welche Verdampfung, obwohl durch den Glasdeckel des Gefäßes verzögert, doch noch rasch genug ist, um den Meniscus während der Beobachtung um ein Merkliches zu senken.

Daher kann dann die in der Tafel angegebene Höhe nicht den vollkommenen Gleichgewichtszustand der Capillarsäule vorstellen. Wie die Beobachter vor mir diese Unsicherheitsquelle vermieden haben und bis zum Siedpunkt des Wassers beobachten konnten, ist mir nicht recht begreiflich, da sie nicht angeben, welche Vorsichtsmafsregeln sie etwa getroffen haben.

Die von mir mit Wasser gemachten Versuche können also als Bestätigungen der Resultate des Hrn. Brunner, so wie als Widerlegung der Behauptungen von Simon angesehen werden. Allein, wie ich schon bemerklich machte, ist das Wasser nicht die geeignetste Flüssigkeit, um den Widerspruch zwischen Theorie und Erfahrung darzuthun, und dessen Ursache aufzufinden. Bei niederen, dem Dichtigkeitsmaximum nahen Temperaturen zeigt nämlich das Wasser schon eine merkliche Schleimigkeit, und die Theorie setzt eine vollkommene Flüssigkeit voraus, einen Zustand, dem sich Schwefeläther und Alkohol mehr nähern. Zweitens kann das directe Verfahren, welches beim Wasser eben wegen seiner Schleimigkeit, vermöge welcher es seinen normalen Gleichgewichtsstand in der Capillarröhre erst nach mehrmaligem Heben und Senken der Säule annimmt, alleinig anwendbar ist, nicht bei höheren Temperaturen benutzt werden. Und dennoch sind es gerade diese höheren Temperaturen, bei denen man eine Bestätigung oder Widerlegung der Hypothesen der mathematischen Theorie zu erwarten hat, da man sich dann bei allen Flüssigkeiten unter weit besser mit dieser Theorie in Uebereinstimmung stehenden Umständen befindet.

Wen es nämlich wahr ist, dafs die Steighöhe einer Flüssigkeit in einer Capillarröhre bei jeder Temperatur proportional ist der Dichtigkeit der Flüssigkeit, so kann, da diese Dichtigkeit niemals Null wird, auch die Höhe niemals auf Null herabsinken, selbst bei der Temperatur, bei welcher die Flüssigkeit sich, den Versuchen des Hrn. Cagniard-Latour gemäfs, vollständig in Dampf verwandelt. in Gegentheil, wenn die von verschiedenen Experimenta-

toren gewonnenen Resultate richtig sind, wenn die Abnahme der Höhe proportional ist der Temperatur, so leuchtet ein, daß die Capillarrhöhe bei einer hinreichend hohen Temperatur Null werden, und oberhalb dieser Temperatur das Aufsteigen sehr wahrscheinlich in ein Vertiefen übergehen wird.

Diese Temperatur läßt sich nun aus den empirischen Formeln, die ich oben angegeben habe, leicht ableiten. Die des Hrn. Brunner giebt für Wasser $535^{\circ},38\text{ C.}$, die meinigen für die erste Röhre $537^{\circ},56\text{ C.}$, für die zweite $550^{\circ},3\text{ C.}$ Es war also nicht das Wasser, von dem ich die Bestätigung meiner Induction erwarten durfte, sondern andere, flüchtigere Flüssigkeiten, wie Schwefeläther, Schwefelkohlenstoff u. s. w. Die von Hrn. Brunner für Schwefeläther gegebene Formel

$$h = 5^{\text{mm}},3536 - 0,028012t$$

giebt eine Höhe $= 0$ bei der Temperatur $191^{\circ},12$, welche sich leicht erreichen läßt und unterhalb der vollständigen Verdampfung dieser Flüssigkeit liegt. Allein ich wollte zuvörderst das Gesetz der Höhen-Abnahme bei höheren Temperaturen als die des siedenden Aethers, bei welcher Hr. Brunner stehen blieb, prüfen.

In einer an einem Ende verschlossenen Glasröhre von 24 Millimeter Durchmesser und hinreichender Wanddicke hing ich mittelst eines gegen die Wandung federnden Kupferringes und drei sehr dünner Metalldrähte eine Capillarröhre genau in der Axe auf. Dann zog ich die weite Röhre vor der Lampe aus, brachte durch Digestion und Destillation über Chlornatrium rectificirten Schwefeläther hinein, vertrieb die Luft durchs Sieden dieser Flüssigkeit und schmolz das offene Ende zu. Der Aether bildete dann auf dem Boden der weiten Röhre eine etwa 3 Centimeter hohe Schicht, in welche die Capillarröhre eintauchte.

Um diese Röhre in verschiedene Temperaturen zu versetzen, befestigte ich sie in der Mitte eines kubischen Gefäßes von Kupfer, welches 8 Liter faßte und an zwei gegenüberstehenden Seiten mit Glasplatten versehen war. Ein

Thermometer neben der Röhre zeigte die Temperatur des das Gefäß füllenden Wassers an, und diese Temperatur wurde durch eine Alkohollampe mit mehreren Dochten gesteigert und durch einen Umrührer gleichförmig gemacht. Der ganze Apparat ruhte auf einem Brett, versehen mit drei Stellschrauben, mittelst deren man die vordere Glasplatte genau lothrecht zur Axe des Fernrohrs des Kathetometers stellte. Ich versicherte mich auch durch das schon angezeigte Verfahren, daß die Glasröhre keine Ablenkung der Lichtstrahlen hervorbrachte.

Jede Versuchsreihe begann mit einer Beobachtung bei gewöhnlicher Temperatur; diese variirte wenig im Laufe meiner Versuche und die Uebereinstimmung der sonach in jeder Reihe erhaltenen ersten Zahlen diente zum Nachweise, daß der Zustand der Röhre sich nicht geändert hatte. Hierauf steigerte man die Temperatur bis zu dem beabsichtigten Grad und es war leicht, dieselbe fast eine Viertelstunde constant zu halten. Eine schon von Hrn. Frankenheim hervorgehobene Schwierigkeit bei diesem Verfahren liegt in der Temperaturverschiedenheit der Capillarröhre und der Flüssigkeit, in welche sie eintaucht. Letztere erwärmt sich nämlich direct durch den Contact mit dem Wasser des großen Gefäßes, während der hervorragende Theil der Röhre sich nur durch Strahlung erwärmt. Allein der Moment, wo die constante Temperatur des Bades auch die der Röhre geworden ist, wird hier durch die Röhre selbst angezeigt. So lange nämlich ein Temperatur-Unterschied zwischen Röhre und Flüssigkeit besteht, verdichten sich die Aetherdämpfe in dieser Röhre und bilden darin, oberhalb der Capillarsäule, Blasen, die unanfhörlich herunter sinken und sich oben unaufhörlich wieder bilden. So wie die Bildung dieser Blasen aufhört, kann man die Temperatur als gleichförmig betrachten. Ueberdies habe ich, um zur constanten Beobachtungstemperatur zu gelangen, immer die Vorsicht getroffen, das Gefäß erst zu erwärmen und dann erkalten zu lassen, und mich der Identität der Resultate in beiden Fällen zu versichern.

Die bei diesem Verfahren gemessenen Höhen erfordern eine Berichtigung, weil in dem ringförmigen Raum zwischen den beiden Röhren die Flüssigkeit durch Capillarwirkung aufsteigt. Die Niveaudifferenz muß der, nach der Temperatur verschiedenen Steighöhe der Flüssigkeit hinzugefügt werden. Ich habe den Werth dieser Berichtigung direct bestimmt; dazu würde es genügen mitten in einem grossen, mit Aether gefüllten Gefäß einen Ring, gebildet von einem Stück der zum Versuche angewandten Röhre, aufzustellen, darin die Capillarröhre anzubringen, und nun, mit den schon angegebenen Vorsichtsmafsregeln, die Niveaudifferenz zwischen der Flüssigkeit innerhalb und außerhalb des Ringes mit dem Sphärometer zu messen. Allein die Verdampfung der Flüssigkeit ist so rasch, dafs ich die Methode der abwechselnden Beobachtung anwenden mußte; ich mafs also erst das Niveau in der Röhre, dann im Gefäß und dann wieder in der Röhre, nach einer Zeit, die der Zwischenzeit der beiden ersten Beobachtungen gleich war. So erhielt ich bei 20° als Mittel von Resultaten, die kaum um 0,001 Millimeter unter sich abwichen, 0^{mm},104. Diese Berichtigung variirt mit der Temperatur. Zur Bestimmung dieser Variation bediente ich mich der Resultate des Hrn. Brunner, woraus sich ergibt, dafs die Steighöhe bei 191° Null ist, was ich übrigens direct bestätigt habe, wie ich sogleich angeben werde. Daraus folgt, dafs die Abnahme der Berichtigung 0,000608 für jeden Grad ist, dafs sie 0^{mm},116 bei 0° und 0^{mm},055 bei 100° wird. Nach dieser Berichtigung erhielt ich folgende Tafel:

Temperatur	Höhen		Unterschiede	Temperatur	Höhen		Unterschiede
	beob.	berechn.			beob.	berechn.	
°	mm	mm		°	mm	mm	
12,67	36,140	35,86	— 0,180	46,82	29,879	29,90	+ 0,021
14,79	35,437	35,48	+ 0,043	56,42	28,233	28,18	— 0,053
15,77	35,247	35,31	+ 0,063	69,94	25,784	25,81	+ 0,026
18,07	34,794	34,91	+ 0,116	76,81	24,673	24,51	— 0,163
20,03	34,504	34,56	+ 0,056	85,01	23,145	23,16	+ 0,015
24,74	33,591	33,74	+ 0,149	87,80	22,483	22,67	+ 0,187
27,97	33,129	33,17	+ 0,041	92,71	22,015	21,82	— 0,185
33,14	32,316	32,27	— 0,046	93,46	21,760	21,69	— 0,071
34,78	32,145	31,98	— 0,165	99,19	20,748	20,56	— 0,186

Die Zahlen der dritten und siebenten Columnne sind berechnet nach der linearen Formel

$$y = 38^{\text{mm}},0819 - 0,175436x,$$

welche die Resultate der Erfahrung ziemlich genau darstellt. Man kann hier offenbar nicht dieselbe Genauigkeit verlangen, wie bei der directen Methode, vor Allem wegen der Schwierigkeit, das Niveau der Flüssigkeit in der weiten Röhre zu bestimmen. Dessenungeachtet kann man daraus die Folgerung ziehen, daß die Abnahme der Capillarrhöhe, welche Hr. Brunner bis 35° proportional der Temperatur gefunden hat, noch bis 100° demselben Gesetze folgt.

Aber daraus hinaus wird die Abnahme rascher. Das Gesetz derselben habe ich, wegen der Schwierigkeit, die Temperatur während dieses Versuches constant zu halten, nicht bestimmen können. Ein einziges, aber sehr wichtiges Resultat führt mich zu diesen Schlufs. Aus der obigen Formel ergibt sich, daß die Höhe der Flüssigkeit in der Capillarröhre Null wird bei 217° , wenn das Gesetz sich bis zu dieser Temperatur erstreckt. Die Röhre, mit welcher die obigen Versuche angestellt wurden, war nicht stark genug, um ohne Gefahr bis zu dieser Temperatur angewandt zu werden, bei welcher der innere Druck sehr groß seyn mußte.

Demgemäß schloß ich die Capillarröhre dieser Versuche in eine Röhre von 1 Centimeter innerem Durchmesser und sehr großer Wanddicke ein, füllte letztere bis fast zu einem Viertel ihres Raumgehaltes mit Aether, und schmolz sie vor der Lampe zu, nachdem die Luft ausgetrieben worden war. Diese Röhre wurde lothrecht in eine umgekehrte Glocke voll Leinöls gestellt und daneben eine zweite ähnliche aber offene Röhre angebracht, in welche ein Thermometer tauchte. Ein doppelter Agitator diente zur Herstellung der Gleichförmigkeit der Temperatur.

In dem Maasse, als die Temperatur stieg, sah man die Flüssigkeitssäule in der Capillarröhre rasch sinken, und endlich gegen 190° oder 191° vollständig verschwinden. Und zu gleicher Zeit wurde die bis dahin concave Flüssig-

keit in der weiten Röhre, immer flacher und endlich, bei dieser Temperatur selbst, ganz flach. Erhitzt man weiter, so kann man den capillaren Meniscus unter dem Niveau der äusseren Flüssigkeit wahrnehmen; gegen 198° scheint sich die stark convexe Oberfläche der Flüssigkeit mit einer dicken Wolke zu bekleiden und bietet nur einen schlecht begränzten Umriss dar. Gegen 200° endlich ist die Flüssigkeit vollkommen in Dampf verwandelt, wie schon Hr. Cagniard-Latour beobachtet hat. Lässt man hierauf die Temperatur langsam sinken, so kommt die Flüssigkeit plötzlich wieder zum Vorschein, und die früheren Erscheinungen treten in umgekehrter Ordnung von Neuem auf.

Die Erfahrung beweist also, dass in dem von mir angewandten Haarröhrchen die Flüssigkeit bei einer Temperatur zu steigen aufhört, die weit unter derjenigen liegt, welche die aus Versuchen zwischen 0° und 100° abgeleitete Formel ergibt, die dagegen genau derjenigen gleich ist, welche ich aus der von Hrn. Brunner gegebenen Formel gefolgert habe. Darf man daraus schliessen, dass meine Beobachtungen mit Unrichtigkeiten behaftet seyen? Ich glaube nicht, denn man muss erwägen, dass die Versuche des Hrn. Brunner zwischen sehr engen Temperaturgränzen, zwischen 0° und 35° angestellt sind, und dass es kaum möglich ist, daraus zu folgern, was bei einer von diesen Gränzen so entfernten Temperatur vorgehe, so dass dieses Zusammentreffen als ganz zufällig betrachtet werden muss. Wenn man zweitens die von mir bei der gewöhnlichen Temperatur angestellten Beobachtungen als richtig ansieht und aus denselben die Capillarrhöhe bei 100° abzuleiten sucht, unter der Bedingung, dass die Abnahme proportional sey der Temperatur und dass die gehobene Säule bei 191° auf Null komme, so findet man die Steighöhe bei $100^{\circ} = 18^{\text{mm}}, 44$, statt $20^{\text{mm}}, 54$, ein viel zu grosser Unterschied, als dass man ihn den Beobachtungsfehlern zuschreiben könnte.

Allein, ich muss sagen, ich lege viel weniger Gewicht auf die Bestimmung des Werthes dieser Gränztemperatur als auf den Nachweis der Thatsache selbst, da sie allein

mir einen entscheidenden Einwand gegen die mathematische Theorie zu liefern scheint. Seitdem ich diesen ersten Versuch mit Schwefeläther angestellt hatte, wollte ich ihn mit mehreren anderen Flüssigkeiten, Schwefelkohlenstoff, Naphtha, Alkohol wiederholen. Ich schloß diese Flüssigkeiten in Röhren von 2 Millimeter innerem Durchmesser ein, in solcher Menge, daß sie dieselben fast zum Viertel füllten. Ich erhitze diese Röhren in einer kleinen umgekehrten und mit Oel gefüllten Eprouvette, und immer sah ich, daß, in dem Maasse die Temperatur stieg, der Meniscus stets weniger concav und die Oberfläche zuletzt eben wurde, und darauf bei einer, der gänzlichen Verflüchtigung der Flüssigkeit nahe liegenden Temperatur ins Convexe überging. Selbst wenn man die Röhre horizontal legt, sieht man die Flüssigkeit sich in ihrer ganzen Länge horizontal ausbreiten und eine Schicht bilden, die von einer vollkommen ebenen Oberfläche begränzt ist. Ich habe nicht die Temperaturen bestimmen können, bei denen diese Erscheinung für die letzteren Flüssigkeiten eintritt, da ich zur Bestimmung sehr hoher Temperaturen keine Thermometer besaß; allein, sie liegen wie gesagt, denjenigen nahe, bei welchen nach Hrn. Cagniard-Latour die vollständige Verflüchtigung eintritt¹⁾, 200° beim Schwefeläther, 259° beim Alkohol, 275° beim Schwefelkohlenstoff, und eine Temperatur zwischen 200 und 259 bei der Naphtha. Ueberdies habe ich die von demselben Physiker gemachte Beobachtung bestätigt gesehen, daß die Temperatur der vollständigen Verflüchtigung einer Flüssigkeit unabhängig zu seyn scheint von dem Verhältniß zwischen ihrem Volum und dem des freien Raums, in welchem sie sich ausbreiten kann.

Aus den so eben beschriebenen Versuchen glaube ich folgende Schlüsse ziehen zu dürfen:

1. Das Gesetz der Abnahme der Höhe, bis zu welcher eine Flüssigkeit in einer selben Röhre bei verschiedenen Temperaturen aufsteigt, ist viel rascher als es die Theorie von Laplace und Poisson angiebt.

1) *Ann. chim. et phys. Ser. II, T. XXI, p. 181 et T. XXII, p. 414.*

2. Das Gesetz der Abnahme scheint bei Röhren von verschiedener Temperatur nicht dasselbe zu seyn, so daß das Verhältniß der Höhen, zu welchen sich eine selbe Flüssigkeit in verschiedenen Röhren erhebt, mit der Temperatur variirt.

3. Die Dichtigkeit der Flüssigkeit scheint nur einen secundären Einfluß auf die Erscheinung auszuüben; denn erstens kann die Steighöhe abnehmen, wenn die Dichtigkeit zunimmt, und umgekehrt; und zweitens, was in meinen Augen das Wichtigste ist; diese Höhe kann Null werden, das Aufsteigen kann sogar in ein Hinabdrücken übergehen, wenn die Flüssigkeit noch eine merkliche Dichtigkeit hat.

Während diese Erscheinung den entscheidendsten Beweis gegen die Theorie liefert, führt sie uns aber auch noch zu einer sehr einfachen Erklärung eines Widerspruchs zwischen Theorie und Erfahrung, den die Physiker wohl dargethan, aber bisher nicht aufgeklärt haben. Um den Gegenstand deutlich zu machen, muß ich zu den Hypothesen zurückgehen, auf denen die Theorie beruht.

Alle Physiker machen mit Laplace, Gaußs und Poisson die Annahme, daß, wenn eine Flüssigkeit in einer Röhre aufsteigt, deren Wandung sie benäßt, sie längs dieser Wandung eine äußerst dünne Schicht bilde, eine Art flüssiger Röhre, in welcher dann die Capillarsäule sich erhebt. Daraus dann der unmittelbare Schluß: die Form des Meniscus, welcher die Flüssigkeit begränzt, hängt allein ab von dem Winkel, den das letzte Element der Oberfläche mit der Wand bildet, und da dieser Winkel Null ist, wenn Flüssigkeit und Wand von gleicher Natur sind, so müssen die Gestalt der Oberfläche und der Krümmungsradius derselben am untersten Punkt in cylindrischen Röhren von hinreichender Enge bei jeder Temperatur constant bleiben und die freie Oberfläche muß hemisphärisch seyn.

Diese Constanz des Krümmungsradius des Meniscus voraussetzend und überdies annehmend, daß die Anziehung der Flüssigkeit auf sich selbst proportional sey ihrer

Dichtigkeit, gelangen Laplace und Poisson zu dem Schluss, daß die Capillarrhöhe proportional sey der Dichtigkeit der Flüssigkeit.

Zunächst muß ich bemerken, daß die Hypothese von der Proportionalität der Anziehung der Flüssigkeit auf sich selbst zu ihrer Dichtigkeit sehr zweifelhaft ist. Sehr wahrscheinlich ist die Wechselwirkung der flüssigen Elemente verschieden nicht allein nach ihrer Dichtigkeit, sondern nach ihrer Temperatur. *A priori* ist also auch das Gesetz von der Proportionalität der Capillarrhöhe zu der Dichtigkeit ein sehr zweifelhaftes.

Ueberdies habe ich aber so eben gezeigt, daß die Krümmung der Oberfläche des Meniscus mit der Temperatur variirt, daß sie desto schwächer wird, je höher die Temperatur ist. Die Folgerung der Constanz dieser Krümmung kann also nicht mit den Thatsachen übereinstimmen.

Läßt man alle Hypothesen bei Seite, so stimmen die Theorien darin überein zu zeigen, daß das Steigen einer Flüssigkeit sich umgekehrt verhalte wie der Krümmungsradius der freien Fläche an ihrem tiefsten Punkt, diese als eine Umdrehungsfläche vorausgesetzt. Selbst wenn man die Voraussetzungen von Laplace und Poisson zugeben will, muß man eine Berichtigung daran anbringen. Die Höhe wird variiren im Verhältniß zur Variation zweier Elemente, der Dichtigkeit und des Krümmungsradius des Meniscus.

Nennen wir mit Laplace q die Höhe bei 0° , q' die Höhe bei einer anderen Temperatur, bei welcher die Dichtigkeit der Flüssigkeit, bezogen auf die bei 0° , gleich $1 - \alpha$ ist, so hätten wir, falls der Krümmungsradius nicht variirte

$$q' = q(1 - \alpha).$$

Wenn aber der Krümmungsradius ρ bei 0° wird ρ' bei der zweiten Temperatur, so wird man haben:

$$q' = q(1 - \alpha) \frac{\rho}{\rho'},$$

und da ρ' mit der Temperatur wächst, so sieht man, daß die Capillarrhöhe rascher abnehmen muß als die Dichtigkeit.

Diese Veränderung der Krümmung des Meniscus wollte ich noch bei Temperaturen unterhalb denen, wobei, wie in den oben beschriebenen Versuchen, die Gestaltveränderung sichtbar wird, direct untersuchen. In den sehr engen Röhren, mit denen ich operirt hatte, ist die Messung des Meniscuspeils sehr schwierig, so daß sie nicht den nöthigen Grad von Schärfe haben kann. Ich gebrauchte daher eine Röhre von 4^{mm},50 innerem Durchmesser, welche, nachdem sie mit Salpetersäure und verdünnter Schwefelsäure gewaschen worden, zum Theil mit einer Flüssigkeit gefüllt und vor der Lampe verschlossen wurde. Ich befestigte sie lothrecht in einem kubischen Gefäße von Kupfer, das mit zwei gegenüberliegenden kleinen Fenstern von parallelen Plangläsern versehen, mit Wasser gefüllt und durch eine matte opake Platte fast ganz zugedeckt war. Es war nämlich, um die obere und untere Gränze des Meniscus deutlich zu sehen, nothwendig, die Röhre durch ein fast paralleles Licht zu beleuchten und die seitlichen Strahlen auszuschließen. Dann maß ich mit dem Kathetometer den Pfeil des Meniscus, erst bei gewöhnlicher Temperatur und dann bei der Siedhitze des Wassers. Folgendes waren die von mir erhaltenen Resultate als successives Wasser, gewöhnlicher Aether und Schwefelsäure bis zur selben Höhe in dieselbe Röhre eingeführt wurden.

	Wasser	Aether	Schwefelsäure
18°	1 ^{mm} ,955	1 ^{mm} ,80	1 ^{mm} ,80
Siedpunkt des Wassers	1,87	1,60	1,73.

Diese Veränderung in der Höhe des Meniscus beobachtet man schon bei einer Temperatur von einigen Graden über der gewöhnlichen; allein die Schwierigkeit, die Temperatur des Gefäßes constant zu halten, hat mir nicht erlaubt, genaue Messungen zu machen.

Ich komme nun zur zweiten Folgerung aus meinen Beobachtungen. Dem Beispiele Clairault's folgend, betrachteten die Mathematiker bei der Wirkung der Flüssig-

keit auf sich selbst und auf die Röhre immer vier Hauptfälle:

1. Wenn die Wirkung der Röhre auf die Flüssigkeit Null ist oder geringer als die Hälfte der Flüssigkeit auf sich selbst, so wird die Oberfläche der Flüssigkeit in der Röhre convex seyn und eine Depression statt haben.

2. Wird diese Wirkung gleich der Hälfte der der Flüssigkeit auf sich selbst, so ist die Oberfläche der Flüssigkeit in der Röhre eben, und es erfolgt weder Hebung noch Senkung des Niveaus.

3. Bis die Wirkung der Röhre auf die Flüssigkeit gleich geworden der der Flüssigkeit auf sich selbst, zeigt die Theorie, ist die Oberfläche concav und es findet ein Aufsteigen der Flüssigkeit in der Röhre statt.

4. Wenn endlich diese Anziehung die eigene Anziehung der Flüssigkeit überwiegt, erweist sich die Theorie mangelhaft, und es wird zur Erklärung dessen, was dann geschehen könnte, die Annahme nöthig, daß die Flüssigkeit bei ihrem Anhaften an der Röhre eine innere Röhre bilde, welche allein die Flüssigkeit hebt, deren Oberfläche nun concav und sphärisch ist. Es ist zu vermuthen, sagt Laplace, daß dieser Fall der des Wassers und der Oele in Glasröhren sey.

Ist diese Muthmaßung richtig, stimmt sie mit den That- sachen? Ich glaube nicht, wenigstens nicht bei etwas erhöhten Temperaturen; denn meine Beobachtungen führen zu dem Schlufs, daß bei Flüssigkeiten wie Wasser, Alkohol, Schwefeläther und Naphtha, die in Glasröhren aufsteigen, die Anziehung der Röhre auf die Flüssigkeit, welche insgemein größer ist als die Hälfte der der Flüssigkeit auf sich selbst, nicht gleich ist dieser Wirkung, um so mehr also nicht größer als sie, wenigstens unter gewissen Temperaturumständen.

In der That habe ich gezeigt, daß bei einer hinlänglich erhöhten Temperatur, die übrigens von einer Flüssigkeit zur anderen und wahrscheinlich auch nach der Natur des Gefäßes verschieden ist, die Flüssigkeit aufhört dieses Ge-

faßs zu benässen und darin eine vollkommen ebene Oberfläche bildet; eben so, daß in diesem Moment die Wirkung der Röhre auf die Flüssigkeit genau gleich ist der Hälfte der der Flüssigkeit auf sich selbst. Bei einer höheren Temperatur nimmt die Wirkung der Röhre ab und die Flüssigkeit bildet eine convexe Oberfläche. Wenn aber die Temperatur sinkt, wird die Oberfläche concav, die Flüssigkeit steigt im Haarröhrchen und die Erfahrung zeigt noch, daß die Krümmung des Meniskus zunimmt in dem Maasse, als die Flüssigkeit weiter erkaltet. Die Continuität der Erscheinungen zwingt also zu der Annahme, daß in dem Moment, wo das Aufsteigen entsteht, die Anziehung der Röhre auf die Flüssigkeit geringer ist als die der Flüssigkeit auf sich selbst. Es scheint mir also bewiesen, daß bei hinreichend erhöhten Temperaturen, deren untere Gränze ich jedoch noch nicht festsetzen konnte, die Flüssigkeit nicht mehr an der Wandung des Haarröhrchens haftet, um daran die allgemein angenommene Scheide zu bilden.

Ist aber diese Scheide bei den gewöhnlichen Temperaturen vorhanden, bei denen die früheren Versuche gemacht wurden? Ich wiederhole, meine Beobachtungen können diese Frage nicht beantworten. Indefs, wenn man erwägt, welche Gründe die Mathematiker nöthigen konnten, die Theorie durch die Hypothese vom Daseyn dieser Scheide zu compliciren, so sieht man, daß es bis jetzt eben so viel Wahrscheinlichkeiten für als gegen sie giebt. Folgende Gründe sind hauptsächlich zu Gunsten derselben angeführt.

Der erste liegt in der schon längst gemachten Bemerkung, daß man eine constante Erhebung in einem Haarröhrchen nur dann erhält, wenn man zuvor die Wandung durch Aufsaugen der Flüssigkeit benäßt hat. Allein diese Bedingung zum Erfolg läßt sich auch durch die Nothwendigkeit erklären, die immer der Wandung anhaftende Luft zu entfernen und den Contact zwischen Flüssigkeit und Röhre herzustellen.

Der zweite würde ernsthafter seyn, wenn er auf recht

sicheren Thatsachen beruhte. Es ist beobachtet, sagt man, daß eine Flüssigkeit in gleich weiten Röhren, wenn dieselbe sie benäht, immer zur selben Höhe aufsteigt, von welcher Natur auch die Röhre sey, so daß also, der Einfluß der Natur der Wandung Null oder unmerklich ist, was nur erklärt werden kann durch das Daseyn einer dieser Wandung anhaftenden Schicht, deren Dicke beträchtlicher ist als der Wirkungsradius der Röhrentheilchen. Allein, wo sind die Versuche, auf welchen dieses Gesetz begründet ist? Gewöhnlich citirt man Hawksbee; allein seinen Versuchen kann man die von Musschenbroek entgegenstellen, durch welche dieser berühmte Experimentator einen merklichen Einfluß der Wandung erkannt zu haben glaubt. Man citirt die Versuche von Oersted ¹⁾, allein sie sind nach einem ähnlichen Verfahren wie das von Simon gemacht, und sie können, wie die Versuche des Letzteren, nicht angerufen werden zur Stütze einer auf ganz anderen Bedingungen errichteten Theorie. Sein Apparat bestand aus einer Art von umgekehrtem Heber, dessen einer Arm durch eine horizontale, mit einem Loche versehene Platte verschlossen war, und man bestimmte den Druck, der nöthig war, um die Flüssigkeit zu diesem Loche austreten zu lassen. Er fand, daß der Druck gleich war, das Wasser mochte durch gleiche Oeffnungen in Glas oder amalgamirtem Kupfer austreten, was so viel sagt, als daß das Wasser in Röhren von Glas und von amalgamirtem Kupfer gleich hoch steigen würde.

Und doch, wenn man, nach Verurtheilung dieser ungehörigen Methoden, untersucht, durch welche Mittel sich wohl der Nicht-Einfluß der Wandung erweisen ließe, sieht man sehr bald, daß man, weil die Röhren fast alle opak sind, unmöglich zur directen Methode greifen kann, ausgenommen im Fall die Röhren so weit wären, daß man die Erhebung der Flüssigkeit mit dem Sphärometer messen könnte; allein dann wäre die absolute GröÙe der Erhebung so gering, daß man einen strengen Beweis nicht erwarten

1) Pogg. Ann. 1841, Bd. LIII, S. 614.

könnte. Es ist übrigens sehr schwierig, zwei Röhren von genau gleichem Durchmesser zu haben. Dieser Uebelstand findet sich nicht bei der Anwendung zweier parallelen Platten, deren Abstand durch Metalldrähte und Druckschrauben geregelt werden kann. Nun hat Link viele Beobachtungen an parallelen Platten von verschiedener Natur gemacht¹⁾. Bei einem Abstand der Platten gleich 0,4 par. Lin. bekam er folgende Resultate:

	Dichtig- keit.	Glas- platten.	Kupfer- platten.	Zink- platten.
Wasser, destillirtes	1,000	12,5	13,0	13,0
Alkohol, rectificirter	0,835	8,0	10,0	9,5
Schwefeläther	0,755	7,0	10,0	8,5
Schwefelsäure	1,845	11,0	11,0	15,0
Salpetersäure	1,200	14,0		
Chlorwasserstoffsäure	1,115	14,0	14,0	
Aetzkali	1,335	8,0	10,5 }	5,0
Essigsaures Kali	1,145	8,5	11,5	10,0.

Wenn auch für das Wasser die Höhe in den drei Fällen beinahe dieselbe ist, so sieht man doch, daß Alkohol und Aether, welche Flüssigkeiten die Platten weit leichter benässen, sich zwischen den verschiedenartigen Platten zu sehr ungleichen Höhen erheben und daß die Unterschiede bisweilen die möglichen Beobachtungsfehler übersteigen.

Ich will nicht reden von einer dritten Thatsache, welche die wichtigste wäre, welche aber noch der Bestätigung bedarf, nämlich, daß ein Tropfen Wasser, Aether oder Alkohol sich auf einer *vollkommen reinen*, ebenen und horizontalen Glasplatte nach ihrer ganzen Oberfläche ausbreitet. Die Bedingungen aber, unter welchen ein solcher Versuch angestellt seyn müßte, um keinem Einwand zu unterliegen, sind dermaßen schwierig zu erfüllen, daß er mir unausführbar scheint.

Wie dem auch sey, so scheint mir doch aus dem, was bei gewöhnlicher Temperatur vorgeht, sicher zu seyn, daß bei einer ziemlich hohen Temperatur das Daseyn einer

1) Pogg. Ann. 1834, Bd. XXXI, S. 593.

flüssigen Scheide in den Haarröhrchen verworfen werden muß.

Aus dieser Beobachtungsweise der Capillarphänomene ergeben sich mehrer Folgerungen, die ich hier, als Schlusssätze dieser Arbeit, noch untersuchen will.

1. Das Aufsteigen einer selben Flüssigkeit in Haarröhrchen hängt, unter sonst gleichen Umständen, von der Natur des Röhrchens ab.

2. In einer und derselben Röhre und bei verschiedenen Temperaturen steht die Steighöhe der Flüssigkeit im zusammengesetzten Verhältniß ihrer Dichtigkeit und der Krümmung des Meniscus; letztere nimmt ab, so wie die Temperatur zunimmt, wird Null bei einer hinreichend hohen Temperatur und kommt jenseits derselben in umgekehrter Gestalt wieder zum Vorschein. Das Gesetz der Höhenabnahme muß nothwendig nach der Natur der Röhre verschieden seyn, und obwohl Röhren von verschiedenen Glassorten fast gleiche Wirkungen auf die Flüssigkeit ausüben, so hat man doch, von einer Röhre zur anderen, Abweichungen in dem Gange der Erscheinung zu erwarten. Zu dem Ende verweise ich auf die Verschiedenheit der Resultate, die ich erst mit einer gewöhnlichen Glasröhre und dann mit einer Krystallglas-Röhre beobachtete.

Das Gesetz der Veränderung der Depression mit der Temperatur bei Flüssigkeiten, die das Glas nicht benässen, knüpft sich dann an das Gesetz der Abnahme der Steighöhe und wird eine Folge daran. In der That habe ich gezeigt, daß bei einer bestimmten Temperatur eine Flüssigkeit aufhört das Gefäß zu benässen, worin sie sich befindet, und daß jenseits derselben die Flüssigkeit eine convexe Oberfläche annimmt und sich deprimirt. Die Continuität der Erscheinungen findet sich also auf eine sehr einfache Weise hergestellt. Es bedarf nur der Annahme, daß z. B. das Quecksilber, am Glase, schon bei niederen Temperaturen in demselben Zustand ist, welchen Aether, Alkohol und Schwefelkohlenstoff erst bei einer sehr hohen

Temperatur erreichen. Daher muß, wie Hr. Frankenheim beobachtet hat, die Depression mit der Temperatur zunehmen, nach einem Gesetze, das übrigens nach der Natur der Flüssigkeit und der Röhre verschieden ist. Es folgt auch daraus, daß diejenigen Flüssigkeiten, welche die Röhren nicht benässen, diese dennoch bei hinreichend niedriger Temperatur werden benässen können, und somit, durch Wirkung der Kälte, dieselbe Reihe von Erscheinungen darbieten, welche der Aether bei Wirkung der Wärme zeigt. Leider kenne ich keine Flüssigkeit, welche die Bedingungen erfüllt, das Glas nicht zu benässen und bei niedriger Temperatur nicht zu gefrieren, und vielmehr eine hinreichende Beweglichkeit bewahrte.

Zusammengefaßt, glaube ich mein Vorhaben ausgeführt und bewiesen zu haben:

1. Daß das von verschiedenen Beobachtern und besonders von Hrn. Brunner gefundene Gesetz für die Abnahme der Capillarlösche bei steigender Temperatur richtig ist, daß es aber unmöglich ist, dasselbe zu verallgemeinern und anzuwenden auf andere Röhren, als mit welchen die Versuche gemacht wurden.

2. Daß die Uebereinstimmung der mathematischen Theorie und der Erfahrung, die durch diese Resultate gestört zu seyn scheint, wiederum hergestellt wird, wenn man, wenigstens für etwas hohe Temperaturen, die Hypothese aufgiebt, daß der Wandung der Röhren eine flüssige Schicht anhafte, in welcher die Flüssigkeit sich erhebe.

3. Daß das Steigen und das Vertiefen einer Flüssigkeit in einer Röhre nur besondere Fälle eines selben allgemeinen Phänomens sind, welches in seinen Modificationen dem natürlichen Continuitätsgesetze unterliegt.

Ich spreche hier nicht von den Folgerungen, die sich aus einigen der von mir beobachteten Thatfachen, rücksichtlich der Erklärung der Phänomene des sphäroidalen Zustandes ableiten lassen. Vielleicht, daß man selbst diejenigen, die ich aus einer so kleinen Zahl von Beobachtungen zog, voreilig findet: die Dunkelheit, die noch die

Theorie der von mir studirten Erscheinungen einbüßt, und der Wunsch, einiges Licht auf sie zu werfen, mögen meine Dreistigkeit entschuldigen.

VI. *Ueber die Capillarität;*
von Hrn. W. Wertheim.

(*Compt. rend. T. XLIV, p. 1022.*)

Die Theorie der Capillarität beruht auf der Hypothese, daß das Volum der Flüssigkeit, welche sich über das Niveau erhebt, proportional sey dem Umfang des Querschnitts der starren Wand, welche Krümmung auch der Umfang haben möge. Diese von Laplace aufgestellte Hypothese, welche mit der von Young zusammenfällt, dient als Ausgangspunkt für die Entwicklung aller besonderen Fälle und andererseits für die Erhebung zum Studium der Molecularkräfte. Sie kann daher nicht sorgfältig genug geprüft werden; leider hat sich die Integration der fundamentalen Differentialgleichung nur in einigen besonderen Fällen bewerkstelligen lassen können, und die experimentelle Prüfung ist daher zwischen sehr enge Gränzen eingeschlossen.

Um diese Prüfung auf eine allgemeine Weise vorzunehmen, verfuhr ich wie folgt. Ich begann die asymptotische Curve, die Generatrix der Oberfläche des durch eine Ebene gehobenen Meniscus zu beobachten, und, nachdem für sehr nahe an einander liegende Abscissen die entsprechenden Werthe der Ordinaten über dem Niveau gemessen worden, construirte ich diese Curve durch Punkte und bestimmte experimentell den Flächenraum und die Lage des Schwerpunkts der zwischen dieser Curve und den beiden Axen begriffenen Fläche. Dieselben Bestimmungen machte ich bei den Menisken, die durch eine große Anzahl convexer Cylinder von verschiedenem Durchmesser

gehoben worden waren, und berechnete mittelst des Guldin'schen Theorems, die Volume der durch die Umdrehung dieser Flächen um die Axen ihrer Cylinder erzeugten Körper. Auf gleiche Weise verzeichnete ich die kapillare Fläche der Flüssigkeit, welche zwischen zwei ebenen und in verschiedenen Abständen (2α) befindlichen Ebenen begriffen war; seyen h die Höhe des tiefsten Punktes dieser Curve über dem Niveau, b der Flächenraum des Querschnitts des halben Meniskus und l die Breite einer Ebene, so wird $2l(h\alpha + b)$ das gehobene Volum der Flüssigkeit seyn.

Die Quotienten aller für eine selbe Flüssigkeit und bei derselben Temperatur gefundenen Volume, dividirt durch die entsprechenden Umfänge der starren Körper, müssen unter sich gleich seyn, wenn die Hypothese richtig ist, und sie müssen unterschiedslos die Capillarconstante $\frac{a^2}{2} \sin \varphi$ liefern (wo φ das Complement des Winkels bezeichnet, den das letzte Element der Curve mit der Wand bildet).

Dieses Verfahren paßt nicht auf concave Cylinderflächen; man kann dabei nur die Erhebung h des tiefsten Punktes der Fläche beobachten. Dies habe ich für eine große Anzahl Röhren von sehr kleinem und sehr großem Durchmesser gethan; in diesen beiden Gränzfällen ergibt sich die Constante aus dem einzigen Werthe von h mittelst der bekannten Formeln von Poisson.

Um endlich nicht ganz entblößt zu seyn von Daten über Röhren von mittlerer Weite, liefs ich mehre aus Zink ziehen, und, nachdem sie inwendig mit Wachs überzogen worden, tauchte ich sie mit einem Ende in eine Schale voll geschmolzenen Wachses, welches in einer etwas höheren Temperatur als die der Schmelzung gehalten wurde. Es fand ein Aufsteigen statt und nach dem Erkalten hatte die innere Säule ihre anfängliche Höhe und der Meniskus seine anfängliche Gestalt sehr nahe behalten, so daß, nachdem die Wand in verdünnter Schwefelsäure aufgelöst worden, ein Wachscylinder übrig blieb, der oben durch jenen

Meniskus und unten durch eine Ebene begränzt war, deren Lage gegen das Niveau zuvor bestimmt worden war. Man maafs hierauf h und bestimmte den Werth von b an einem durch die Axe gehenden verticalen Durchschnitt. Die folgende Tafel enthält die Mittelwerthe aller von mir erhaltenen Resultate.

Volume (Cubikmillimeter) getragen von einem Millimeter Umfange bei 10° bis 15° (das Wachs ausgenommen).

	Destillirtes VWasser	Gesätt. Lö- sung von Ei- senchlorür	Olivlenöl	Wachs	Alkohol	Schwe- feläther
Inn. Durch- messer mm	Enge Röhren					
0,15 bis 1,8	7,537	6,182	3,720	3,507	3,072	2,618
	Mittlere Röhren					
2,104				3,362		
5,246				3,146		
5,510				3,158		
6,244				3,221		
	Weite Röhren					
12 bis 30	<5,8, >5,6	<5, >3,7	3,7	3,366	3,1	
	Eine Ebene					
	5,148	3,264	3,457	3,470	3,169	
Abstand	Zwei parallele Ebenen					
9,740	5,187	3,329	3,779		3,254	2,673
7,930	5,196	3,340	3,623		3,277	2,672
5,344	5,179	3,532	3,952		3,178	2,649
3,940	5,272	3,345	3,833		2,979	2,542
2,640	5,142	3,432	3,899		3,088	2,505
1,332	5,088	3,361	3,927		3,133	2,692
0,882	5,133	3,597	3,807		3,185	2,703
0,394	5,197	3,554	3,776		3,170	2,622
0,236	5,192		3,821		3,272	2,732
Aeusserer Durchmess.	Convexe Cylinder					
34,25	5,071	2,915	3,397		3,021	
22,03	4,819	2,778	3,170	2,926	2,976	
14,92	4,727	2,615	2,778		2,764	
10,09	4,500	2,450	2,794	3,477	2,799	2,296
4,86	3,953	2,187	2,753	2,691	2,730	2,371
3,02	3,800	2,353	2,861	2,555	2,281	2,185
1,648	3,057	2,262	2,451	2,089	1,732	2,470
1,032	1,948	1,912	2,017	2,075	1,642	2,212
0,676	1,988	1,674	1,564	1,790	1,398	
0,332	1,464	0,784	1,218	2,289	0,774	

Aus den Zahlen dieser Tafel lassen sich nachstehende Schlüsse ziehen:

1. *Zwei parallele Ebenen* heben ein constantes Volum, wie auch ihr Abstand seyn möge, selbst wenn dieser unendlich groß ist.

Was das Wasser betrifft, so stimmt die Curve, die ich für eine einzige Ebene gefunden habe, sehr gut überein mit der, die Hr. Hagen beobachtet hat; eben so weichen die Werthe von h zwischen zwei Ebenen wenig ab von denen, die Simon (von Metz) gefunden, nur daß letzterer Physiker mit Unrecht ein Gesetz auf alle Abstände anwenden wollte, welches die Mathematiker niemals anders als angenähert richtig für sehr kleine Abstände aufgestellt haben.

2. Berechnet aus den mit *engen Röhren* angestellten Versuchen, ist die Constante bei gewissen Flüssigkeiten eben so groß, und bei anderen viel größer als die mittelst zweier Ebenen bestimmte Constante. Es ist Zufall daß beim Wasser das Verhältniß zwischen diesen beiden Werthen beinahe gleich $\frac{1}{2}\pi$ ist, wie schon Simon bemerkt hat. Dasselbe Verhältniß ist beim Chlorür beinahe 2 und bei unseren übrigen Flüssigkeiten 1.

3. Die *weiten Röhren* geben einen Werth, der zwischen den vorübergehenden Werthen liegt, wenn diese verschieden sind, und der ihnen gleich ist, wenn sie zusammenfallen. Diefes findet beim Alkohol statt, und deshalb hat der einzige Prüfungs-Versuch, auf den sich Laplace und Poisson berufen, ein mit der Formel vollkommen übereinstimmendes Resultat gegeben. Dem aber wäre nicht also gewesen, hätte Gay-Lussac statt des Alkohols Wasser genommen; man begreift auch, weshalb Hr. Frankenheim den Versuch im Widerspruch mit der Formel fand, selbst wenn er sich Röhren von 14 Mllm. innerem Durchmesser bediente ¹⁾.

4. In dem Maafse wie die Radien der *convexen Cylinder* abnehmen, von der Ebene aus, bei der dieser Ra-

1) Pogg. Ann. Bd. LXXII, S. 191.

dies unendlich groß ist, nimmt das gehobene Volum fortwährend ab bei den beiden ersten Flüssigkeiten; bei den übrigen beginnt diese Abnahme bei einer gewissen Krümmungsgränze, wächst allmählich und, wie es scheint, ins Unendliche. Unter den von mir untersuchten Flüssigkeiten zeigt der Aether das constanteste Volum; leider sind nur die Versuche mit ihm weniger genau als die übrigen, trotz der Sorgfalt, die ich getroffen hatte, die Verdampfung während des Versuchs zu verringern. Und jedenfalls ist es nicht die Abwesenheit der Schleimigkeit, der man diese Constanz zuschreiben muß, denn vergleichende Versuche mit reinem Wasser und Gummiwasser haben mir gezeigt, daß die Schleimigkeit wohl den Moment des Eintritts des Gleichgewichts verzögert, aber keinen merklichen Einfluß auf den Endzustand ausübt.

Um diese Thatsachen zu erklären, könnte man versucht seyn, anzunehmen, daß der Contingenzwinkel mit der Krümmung der Wand variire, allein man kann beweisen, daß dem nicht so ist. Betrachten wir nämlich bloß die Menisken des Wassers und des Eisenchlorürs, gehoben von einer Ebene, für welche man schon hätte $\varphi < 90^\circ$. Der Flächenraum des Querschnitts wäre:

$$A = \frac{1}{2} a^2 \sin \varphi$$

und die größte Ordinate

$$H = a\sqrt{2} \sin \frac{1}{2} \varphi > a\sqrt{\sin \varphi}$$

während der Versuch beständig giebt

$$\sqrt{2A} > H.$$

Ich beweise auch, daß für $\varphi = 90^\circ$, die Coordinaten des Schwerpunkts sind:

$$x_1 = \frac{2}{3} H; \quad y_1 = \frac{2}{3} H - \frac{1}{3} \sqrt{2} \cdot H = 0,19525 H$$

in dem Maasse als φ abnimmt entfernt sich der Schwerpunkt von der Ordinatenaxe, während er in Wirklichkeit ihr näher liegt, als er nach dieser Formel liegen würde.

Man muß also eine andere Hypothese zu Hülfe ziehen und wie ich glaube, die veränderliche Dicke der dem starren Körper anhaftenden flüssigen Schicht oder Scheide in

Rechnung nehmen. Auf diese Hypothese kam ich durch eine Reihe von Versuchen, die ich über die Hebung einer Lösung von Eisenchlorür zwischen zwei an den Polen des Ruhmkorff'schen Elektromagnets befestigten parallelen Eisenplatten anstellte; die unteren Enden dieser Platten tauchten in die Lösung, für die man die Werthe von h und b bei verschiedenen Abständen 2α schon kannte. Nun liefs man durch den Apparat einen Strom gehen, den man langsam verstärkte und dessen Intensität man maafs; da sah man diese magnetische Flüssigkeit zwischen den beiden Ebenen sich bis zum Doppelten und Dreifachen ihrer ursprünglichen Höhe erheben und die Oberfläche die dieser neuen Höhe zukommende Krümmung annehmen; allein bei jeder Intensität der Magnetisirung blieb das gehobene Volumen beinahe constant, welchen Abstand auch die Platten haben mochten; mit einem Wort der Vorgang war so, wie wenn die Capillarconstante verdoppelt oder verdreifacht worden wäre. Wir wissen indess durch die Versuche der HH. Brunner und Mousson, dafs die Anziehung der Flüssigkeit auf sich selbst nicht durch die Magnetisirung dieser geändert wird, und andererseits beweist die Kleinheit der Gestaltveränderung, welche die Flüssigkeit erleidet, wenn die Polflächen nicht darin eintauchen, so wie die Thatsache der Unabhängigkeit der Zunahme des gehobenen Volums von dem Abstände der Platten, dafs es sich hier nicht um einen in die Ferne ausgeübten Effect magnetischer Anziehung handelt. Ich glaube also, dafs diese Thatsachen nur durch eine Zunahme der Dicke der anhaftenden Schicht erklärt werden können, eine Zunahme, die sich direct erweisen läfst.

Man begreift übrigens, dafs, da jede Temperaturveränderung diese Dicke verändern kann, der Einflufs der Temperatur sehr abweichen kann von dem, welchen die Theorie bei blofser Berücksichtigung der Ausdehnung der Flüssigkeit vorausgesehen hat.

VII. *Ueber das capillare Aufsteigen des Wassers zwischen parallelen Platten; von Hrn. E. Desains.*

(*Compt. rend. T. XLV, p. 225.*)

Die Physiker, welche sich in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts mit der Messung der damals erst eben entdeckten Capillar-Erscheinungen beschäftigten, erkannten schon, daß das Steigen des Wassers zwischen zwei parallelen Glasplatten ungefähr die Hälfte von dem Steigen derselben Flüssigkeit in einer cylindrischen Röhre ist, deren Durchmesser dem Abstand der Platten gleich kommt. Dieses Resultat ist in Newton's Optik angeführt. Laplace hat davon eine Erklärung gegeben, die durch ihre Einfachheit klassisch ist. Um die Theorie zu prüfen, wiederholte Gay-Lussac die Messungen mit größerer Sorgfalt und nach genaueren Verfahrungsarten als man vor ihm anwandte; sein Resultat ist in der *Mécanique céleste* und in Poisson's Theorie angeführt. Er empfiehlt die Platten wohl mit Wasser zu benässen. Er studirte auch andere Capillarphänomene mit Alkohol; allein was das Aufsteigen zwischen parallelen Platten betrifft, so operirte er mit Wasser und fand so, daß einer Höhe von $13^{\text{mm}},574$ ein Abstand von $1^{\text{mm}},069$ entsprach; die Rechnung würde $1^{\text{mm}},088$ geben. Die Temperatur war 16° .

Lange nach Gay-Lussac läugnete Simon in Metz die von der Erfahrung und der Theorie gefundene Relation, und behauptete, daß das Steigen des Wassers zwischen zwei Platten nur etwa ein Drittel von dem Steigen in einer Röhre wäre, deren Durchmesser dem Abstände der Platten gleich kommt. Er glaubte sogar zu bemerken, daß das Verhältniß, statt genau gleich 3 zu seyn, die bekannte Zahl $3,14\dots = \pi$ wäre.

Ueber diese sonach streitige Frage machte ich abermals mit vieler Sorgfalt Versuche, deren Resultat ich der Akademie in meiner Abhandlung vom 8. December 1856 vor-

legte ¹⁾). Ich fand 17^{mm},8 für das Steigen des Wassers zwischen Platten, deren Abstand 0^{mm},84 betrug. Diese Zahl steht in vollem Einklang mit der Arbeit von Gay-Lussac und der Theorie von Laplace.

In einer der Akademie vom 18. Mai 1857 überreichten Note, veröffentlichte Hr. Wertheim eine große Zahl von Versuchen, aus denen hervorgehen würde, daß die Laplace'sche Theorie vom Aufsteigen zwischen zwei Platten richtig ist, wenn es sich um Alkohol, Aether und Olivenöl handelt, daß sie aber bei Wasser und bei einer Lösung von Eisenchlorür nicht mehr stich hält; beim Wasser würden sie die Versuche von Simon bestätigen.

Ich beschloß nun meine Versuche zu wiederholen und, wo möglich, mit noch größerer Sorgfalt. Ich habe es gethan und habe die Ehre der Akademie zu melden, daß ich, wie zuvor, Resultate erhalten habe, die mit den Arbeiten von Gay-Lussac und der Theorie von Laplace ganz übereinstimmen.

So fand ich bei 19°,5 ein Steigen von 16^{mm},47 zwischen Platten, deren Abstand 0^{mm},88 betrug, und bei 25° ein Steigen von 19^{mm},17 zwischen Platten, deren Abstand 0^{mm},76 war.

Um diese Resultate mit der Theorie zu vergleichen, berechnete ich den Abstand d der Platten nach der Laplace'schen Formel:

$$a^2 \times \frac{1}{d} = h + d \times 0,107,$$

worin h die Steighöhe des Wassers und a^2 eine Constante gleich 15,11 bei 8°,5, und gleich 15,11 (1—0,0018 [t —8,5]) für eine Temperatur t .

Wenn

$$\left. \begin{array}{l} h = 16^{\text{mm}},47 \text{ und } t = 19^{\circ},5 \\ h = 19^{\text{mm}},17 \text{ und } t = 25^{\circ},0 \end{array} \right\} \text{ giebt die } \left\{ \begin{array}{l} d = 0^{\text{mm}},89 \\ d = 0^{\text{mm}},76. \end{array} \right. \text{ Rechnung}$$

Die Abweichung dieser Resultate von denen des Hrn. Wertheim entspringt ohne Zweifel aus der Art, die Plat-

1) Ein Auszug daraus findet sich in den Ann. Bd. C, S. 336.

ten zu benützen. Erlaube mir daher die Akademie, bei dem Detail meiner Operationen zu verweilen.

Die beiden Platten, welche ich anwandte, haben ungefähr 17 Centimeter Länge, 12 Centimeter Höhe und fast 4 Millimeter Dicke. Um sie zu reinigen, lasse ich sie 24 Stunden in Kalilösung liegen; dann wasche ich sie mit Wasser, mit Chlorwasserstoffsäure, lasse sie darin liegen, wasche abermals mit Wasser, mit Alkohol und mit Aether und abermals mit Wasser, worin sie wieder mehrere Stunden verweilen. Dann lege ich die eine auf die andere, dabei an den Ecken vier kleine, mit dem Sphärometer gemessene Kupferdrähte zwischen sie schiebend. Die Dicken dieser Drähte betrugen 0,890, 0,884, 0,894, 0,885, also im Mittel 0,888. Durch Zwingen mit Schrauben presse ich die Platten gegen einander, so sanft, daß sie nicht springen, aber doch so stark, daß sie in den Zwingen nicht gleiten. Um mich zu vergewissern, daß die Dicke der Drähte den Abstand der Platten richtig angäbe, brachte ich nach Beendigung der Versuche diese horizontal vor das Kathetometer, und maafs ihren Abstand an beiden Enden der Linie, wo die gehobene Flüssigkeit während der Beobachtung stehen blieb. Ich fand vier Zahlen die von 0,86 bis 0,89 gingen. Ich maafs auch den Abstand zwischen den Platten an beiden Enden einer Linie, die winkelrecht auf der ersten war und durch deren Mitte ging; ich fand vier andere Zahlen, die von 0,86 bis 0,90 gingen. Das Mittel dieser acht Werthe war 0,876. Diese Messungen zeigen, daß die Platten gut parallel waren. Was ihren Abstand betrifft, so nahm ich dafür 0,882 Millimeter, das Mittel aus den sphärometrischen und kathetometrischen Messungen.

Mittelst eines Bindfadens, der an den Köpfen der Schrauben befestigt war, konnten die Platten aufgehängt werden an einem Querriegel, der längs eines Ständers verschiebbar war; sie wurden in ein großes Gefäß voll destillirten Wassers ganz untergetaucht und blieben es ungefähr einen Tag; dann erst wurden sie theilweis aus dem Wasser ge-

zogen, um die Höhe zu messen, bei welcher die Flüssigkeit stehen blieb. Zu dem Ende sorgte ich dafür, daß das Wasser in dem Gefäße sich ein wenig über die Ränder erhob, dann liefs ich eine starke Spitze bis sehr nahe auf die Oberfläche herab. Ich visirte nach der Spitze und ihrem Bilde, und nahm die mittlere Lage des kathetometrischen Fernrohrs als diejenige, welche dem Niveau des Wassers im Gefäße entsprach. Hierauf visirte ich nach dem unteren Theil des Meniskus, welcher die Flüssigkeit begränzte; der Gang des Fernrohrs gab mir die gesuchte Höhe. Nachdem ich einige Messungen gemacht, tauchte ich die Platten wieder unter, und wartete bis zum anderen Morgen, um sie abermals herauszuziehen und neue Versuche zu machen. Durch Visiren nach verschiedenen Punkten der unteren Kante des Meniskus überzeugte ich mich, daß sie gut horizontal war. Man erhält dies Resultat genau oder sehr nahe, wenn die Platten wohl benäßt sind und nicht zu lange gehoben standen. Sobald diese Kante beträchtliche Unregelmäßigkeiten zeigt, muß man die Messungen verwerfen. Wenn die Platten wohl benäßt sind, beweist die Horizontalität der Kante, daß sie parallel sind und keine Biegungen erlitten haben. Sie waren übrigens schon durch ihre Dicke vor einem Fehler letzterer Art geschützt.

Läfst man die Platte lange Zeit zum Versuch stehen, so wird der über dem Wasser befindliche Theil nach und nach trocken, und zugleich nimmt die Erhebung der Flüssigkeit ab. Oft ist die Abnahme unregelmäßig, und dann bleibt die Endkante nicht mehr horizontal; manchmal erhält sich jedoch diese Horizontalität ziemlich gut. Ich habe die Depression der Flüssigkeit bei der Beobachtung verfolgt und theile sie hier mit:

0 ^h	0'	Platten herausgezogen	
0	7	Höhe der Flüssigkeit	16 ^{mm} ,45
1	24	" "	16,02
26		" "	14,88
44		" "	14,43.

Nun war der obere Theil des Zwischenraums der Platten bis zu dem Punkt trocken geworden, daß man daselbst einen schwachen Absatz jener Substanzen erblickte, welchen selbst das destillirte Wasser oft beim Verdampfen hinterläßt. Dicht über dem Meniskus zeigten sich kleine liquifescirte Dampfkügelchen, ähnlich wie man sie an kalten Fensterscheiben warmer Zimmer sieht. In diesem Zustand unvollkommener Befeuchtung kamen die Capillar-Erscheinungen nicht mehr zur vollen Entwicklung; allein dennoch war die Steighöhe noch ungefähr 3 Millimeter größer als es die Regel von Simon in Metz angiebt.

Die Höhe von $19^{\text{mm}},17$ entsprechend dem Zwischenraum von $0^{\text{mm}},76$ erhielt man bei Trennung der Platten nicht durch Kupferdrähte, sondern durch Glasplättchen, die mit dem Sphärometer gemessen worden waren.

VIII. Ueber die Theorie der Capillarphänomene; von Hrn. Gilbert.

(*Compt. rend. T. XLV, p. 771.*)

In dem vorliegenden Hefte der *Compt. rend.* (vom zehnten August 1851) setzt Hr. E. Desains aus einander, daß, nach den von ihm mit dem Laplace'schen Gesetz vorgenommenen Prüfungen, das Verhältniß der Steighöhen einer und derselben Flüssigkeit in einer Röhre und zwischen zwei parallelen Platten, die um den Durchmesser der Röhre von einander stehen, gleich 2 ist. Simon in Metz hatte dieß geläugnet und für dieß Verhältniß den Werth $\pi = 3,14 \dots$ angegeben.

Es ist merkwürdig, daß die Theorie von Gauß genau die Hälfte des von Simon gefundenen Verhältnisses giebt. Man hat nämlich die Formel

$$h = (2\beta^2 - \alpha^2) \frac{b}{a},$$

in welcher h die *mittlere Höhe* der capillaren Oberfläche über der Ebene der äusseren, als unendlich angenommenen Flüssigkeit ist, α und β zwei Constanten, b der Umfang und a der Flächenraum des geraden Querschnitts der cylindrischen Röhre.

Für eine andere Röhre von derselben Substanz in derselben Flüssigkeit hat man

$$h' = (2\beta^2 - \alpha^2) \frac{b'}{a'}.$$

Gesetzt die erste Röhre habe zum geraden Querschnitt einen Kreis vom Radius R , die zweite dagegen eine Ellipse, deren Halb-Axen und Umfang respective A , B und E seyen, so hat man:

$$h = (2\beta^2 - \alpha^2) \frac{2}{R}; \quad h' = (2\beta^2 - \alpha^2) \frac{E}{\pi AB}$$

und

$$E = 4A \int_0^{\frac{1}{2}\pi} d\varphi \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}, \quad e = \sqrt{\frac{A^2 - B^2}{A^2}}$$

Bleibt B constant und wird A unendlich, d. h. verwandelt sich die Röhre in ein System von parallelen Ebenen, so wird $e = 1$ und $\frac{E}{A} = 4$, also

$$h' = (2\beta^2 - \alpha^2) \frac{4}{\pi B},$$

woraus folgt, daß wenn ich annehme $2R = 2B$, d. h. den Durchmesser der Röhre gleich dem Abstand der beiden Ebenen, ich haben werde

$$\frac{h}{h'} = \frac{\pi}{2} = 1,57 \dots$$

eine Zahl, die beträchtlich kleiner ist als die von Laplace und halb so groß als die von Simon.

IX. *Einige Bemerkungen über die meteorologischen Aufsätze des Hrn. Vettin; von H. W. Dove.*

Im 52. Bande dieser Annalen S. 1 bis 41 habe ich eine am 26. November 1840 in der Berliner Akademie gelesene Abhandlung »über das Gesetz der Stürme« veröffentlicht, in welcher ich die westindischen Wirbelstürme auf das zu früh erfolgende Herabkommen von Theilen des obern Passats zurückgeführt habe, und aus dem Hadley'schen Princip die schon im Jahre 1827 von mir gefundene entgegengesetzte Drehung des Wirbels auf der südlichen und nördlichen Erdhälfte (Pogg. Ann. Bd. 13, S. 598) abgeleitet. Den Grund, warum dieß Herabkommen gerade in der Nähe der westindischen Inseln am häufigsten erfolgt, habe ich erst später in der allgemeinen Vertheilung des atmosphärischen Druckes erkannt, nämlich in dem zeitweise erfolgenden seitlichen Einströmen von Luft in den obern Passat zu beiden Seiten eines großen Auflockerungsgebietes. Diese Ergänzung der gegebenen Theorie findet sich in dem Aufsatz »über die wahrscheinliche Entstehungsursache der westindischen Stürme« (Berichte der Berl. Akademie 1852 S. 285) und in einer Abhandlung im dritten Theil des *Observations made at the Magnetical and Meteorological Observatory at Hobarton in van Diemens Island p. IX*, woraus sie in englische und amerikanische Journale übergegangen ist. Meine sämtlichen über die Stürme angestellten Untersuchungen auch über die, welche an der äußern Gränze des Passats und in der Mitte der gemäßigten Zone entstehen, habe ich in einer besonderen Schrift »Ueber das Gesetz der Stürme« (Berlin bei Reimer 1857 8. 115 Seiten) zusammengefaßt, einige Stürme der letztern Abtheilung aber noch ausführlicher in der »Darstellung der Wärmeerscheinungen durch fünftägige Mittel« (Berlin 1856 Fol.) erörtert.

Eine so lange Beschäftigung mit dem Problem der

Stürme wird das Interesse erklären, mit welchem ich den Aufsatz des Hrn. Vettin im 10. Heft des Jahrgangs 1857 dieser Annalen »über den aufsteigenden Luftstrom, die Entstehung des Hagels und der Wirbelstürme« durchlas. »Wird, heisst es daselbst S. 253 in einiger Entfernung vom Aequator eine Insel im Meere stark erhitzt, so nähert sich die Luft von allen Seiten her in Spiralen, am vollkommensten, wenn vorher eine weit verbreitete Windstille in dieser Gegend hervorgetreten. Hat sich einmal ein Wirbelsturm gebildet, so wird er mit dem herrschenden Winde (es war vorher eine weit verbreitete Windstille) fortziehen und an Orte gelangen, deren Temperatur gar nicht so hoch ist, als das dort für sich ein Wirbelsturm erzeugt werden könnte.« Da Charten über den Verlauf der Stürme der Passatzzone in den Werken von Redfield, Reid, Piddington, Tom, Maury und mir, ausserdem im 4. Bd. des Repertoriums der Physik, in Berghaus physikalischem Atlas, Müller's kosmischer Physik etc. sich finden, so darf man voraussetzen, das jeder, der auch nur die oberflächlichste Kenntniss der Wirbelstürme hat, weis, das *nie* die Stürme der Passatzzone *in der Richtung* des herrschenden Passats sich fortbewegen, sondern stets mehr oder minder *senkrecht auf dieselbe*. Man sieht daraus, das meine oben erwähnten Arbeiten in gar keinem Zusammenhang mit der Abhandlung des Hrn. Vettin stehen, denn jene beschäftigen sich mit der Erklärung wirklich existirender Erscheinungen, während er die Bewegungen des Tabakrauches in einem $2\frac{1}{3}$ " weiten unten erwärmten Glaskasten beobachtet, nicht um die von Redfield in seiner bekannten Abhandlung »*whirlwinds excited by fire*« lebendig beschriebenen Erscheinungen im Kleinen nachzubilden, sondern um darauf die Theorie von Erscheinungen zu gründen, welche gar nicht existiren.

Der *Courant ascendant* einer Insel, welcher bekanntlich die täglichen Land- und Seewinde, d. h. die Rotation der Luft um eine *horizontale* nicht *verticale* Axe hervorruft, bewirkt am Barometer eine Verminderung des Druckes um

eine Linie, die Gröfse der täglichen Oscillation. Im Centrum eines Wirbelsturmes hingegen fällt das Barometer mitunter um zwei Zoll, ja so plötzlich, dafs wie mir Hr. Dr. Finlay aus Havannah erzählte, dort bei dem Orkan am 12. October 1846 die Luft sich so schnell verdünnte, dafs die Fenster der Häuser nach der Strafse hinaus gedrückt wurden. Der wirklich nachweisbare Effect des *Courant ascendant* einer Insel, der tägliche Seewind ist mit der Wuth einer Hurricane verglichen die sanfteste Brise, denn dieser bricht hundert Meilen von seinem Entstehungsorte durch Mauern von drei Fufs Dicke, verschiebt Häuser von ihrem Fundament, führt Vierundzwanzigpfünder hunderte von Füssen fort und schleudert ein Schiff gegen ein See-arsenal, dafs es davon zertrümmert wird. Nun mufs aber ein durch einen Wind blofs fortgeschobener Wirbel nothwendig fortwährend an Intensität abnehmen, da ja wie ausdrücklich bemerkt wird in den Gegenden, wo er hingelangt, die Erzeugungsursachen fehlen. Diefs liegt so auf der Hand, dafs Es py, der bekannte Urheber der *Courant ascendant* Theorie der Stürme, das Bewegungsmoment in der sich immer erneuernden Condensation von Wasserdämpfen sucht, während nach meiner Ableitung diese in immer von neuen herkommenden Luftmassen liegt, die am Aequator aufgestiegen nun plötzlich mit einem weniger schnell rotirenden Boden in Berührung treten, da ihnen durch seitliches Eindringen der Luft in den höheren Regionen der Atmosphäre plötzlich der Abflufs nach Norden versperrt wird. Welche Intensität müfste ferner der Wind haben, welcher einen solchen Wirbel im Mittel von 100 bis 150 Seemeilen Durchmesser fortschiebt. Geschieht in irgend einer Beschreibung eines solchen nach dem Wirbel erfolgenden stetigen Stromes eine Erwähnung? Mir ist keine bekannt und ich habe mich wenigstens bemüht, die Litteratur zu kennen.

Die Wirbelstürme der nördlichen Erdhälfte drehen sich im entgegengesetzten Sinne als die der südlichen, für die durch einen *Courant ascendant* entstehenden Wirbel ist

aber der Sinn kein bestimmter. Hr. Vettin bläst also nun Rauch in einen sich drehenden Glaskasten und erhält Wirbel im verlangten Sinne. »Der Erfahrung zu Folge und dem Versuch entsprechend ist der Sturm bei dergleichen Tornados auf der dem Aequator zugewendeten Seite gleichlaufend mit der Bewegung des letztern« (S. 253). Abgesehen davon, daß nach bekannten mechanischen Principien die verschiedene Rotation der geographischen Breitenkreise nur eine Ablenkung eines Luftstromes erzeugen kann, nie einen Wirbel, diesen nämlich nur im Conflict mit andern horizontalen Strömungen oder seitlichen Hemmungen (meine Ableitung der Rotation und der Sturm von Piddington diese Ann. Bd. 52 Charte), so kann doch unmöglich gemeint seyn, daß bei einer dem Aequator nahen Insel (und ich will hinzufügen einer kleinen, denn welche große Insel oder welche Insel überhaupt liegt denn bei dem Sturm im August 1837 östlich von den kleinen Antillen) die unbedeutende Differenz der geographischen Breite der Süd- und Nordküste einen Hurricane erzeugen kann, jeder über die Insel von Nord oder Süd her streichende Wind müßte ja dann schon ein Wirbel werden. Hier haben wir es also mit einer zweiten Theorie zu thun, d. h. der Sinn der Rotation soll nun bestimmt werden durch das Fortrücken des bereits erzeugten Wirbels. Wenn nun aber der bereits erzeugte Wirbel sich im entgegengesetzten Sinne dreht, so muß der erste zuerst zerstört werden, um dem normalen Platz zu machen. Ist dies der Fall, so ist die erste Entstehungsursache als unnöthig widerlegt und es stehen hier, durch wenige Zeilen getrennt, zwei einander widersprechende Theorien einer überhaupt zum Glück nicht existirenden Erscheinung.

Wenn Hrn. Vettin (in seinen meteorologischen Untersuchungen) die von mir gleich in meinen ersten Arbeiten über das Drehungsgesetz ausgesprochen und specieller (diese Ann. Bd. 58, S. 189 und nicht periodische Veränderungen der Temperaturvertheilung Bd. III, S. 129) auf ihren Entstehungsgrund zurückgeführte Thatsache, daß der

Polarstrom in Europa wegen des Verhaltens des Continents zum Meere im Winter auf die Nordostseite, im Sommer mehr auf die Nordwestseite fällt, bestimmt, die von mir durch dreißigjährige, größtentheils in diesen Annalen veröffentlichte, Arbeiten festgestellte Zurückführung der Witterungserscheinungen unserer Breiten auf zwei einander abwechselnd verdrängende Ströme, deren veränderliche Richtung innerhalb des letzten Jahrhunderts, Monat für Monat ich in den nicht periodischen Veränderungen der Temperaturvertheilung nachzuweisen gesucht habe, ohne Weiteres umzuwerfen, und den beiden Strömen zwei oder vier Moussons hinzuzufügen, welche als vollkommen unabhängig davon angesehen werden, so hat das denselben Sinn, als wenn Jemand die Erscheinung, daß der Nordostpassat des atlantischen Oceans durch die Wirkung des heißen Afrika je näher der Küste immer nördlicher wird, so behandeln wollte, daß diese *Winds that shift*, wie sie Dampier nennt, ein von dem Passat ganz unabhängiger Luftstrom seyen. Eben um den allgemeinen Gesichtspunkt festzuhalten, habe ich ausdrücklich bemerkt, daß ich jene beiden Ströme nicht nach einem Punkte der Windrose bezeichne, sondern Polar- und Aequatorialstrom nenne und um meine Grundansicht einfach darzulegen, erlaube ich mir hier eine Stelle aus der Abhandlung in den Beobachtungen von Hobarton anzuführen: »Die Meteorologie begann mit dem Studium europäischer Erscheinungen und wurde zunächst ausgedehnt auf die Phänomene des tropischen Amerika. Wenn das, was für Europa richtig ist, ebenso gültig wäre für die gesammte gemäßigte und kalte Zone und wenn in gleicher Weise das tropische Amerika ein entsprechendes Bild der heißen Zone gäbe, so würde es gleichgültig seyn, an welcher Stelle zuerst meteorologische Untersuchungen angestellt wurden. Diefs ist aber nicht der Fall, und eine zu hastige Verallgemeinerung hat dazu verleitet wichtige Probleme zu vernachlässigen, während andere weniger wichtige als wesentliche betrachtet, in den Vordergrund gestellt wurden. Es war nothwendig

dafs die Wissenschaft sich von diesen Fesseln ihrer Kindheit befreie.« Dafs ich in dieser Beziehung einem gefühlten Bedürfnifs Worte gegeben, schliesse ich aus dem lebhaften Anklang, welchen, wie ich in Blotgets eben erschienener *Climatology of the United states* finde, die Worte »it was necessary that the science should be freed from these youthful trammels« in Amerika gefunden haben. Der Weg, welchen Hr. Vettin einschlägt, würde consequent befolgt dazu führen, dafs ein in Stockholm geschriebenes Lehrbuch der Meteorologie in Petersburg unverständlich wäre. Es ist daher gar kein Grund vorhanden den von mir eingeschlagenen Weg zu verlassen, im Gegentheil.

Im zweiten Theil seiner meteorologischen Untersuchungen beobachtet Hr. Vettin das Apprallen des Rauches von der Decke und dem Boden in einen Glaskasten von $3\frac{1}{2}$ Zoll Höhe und 16 Zoll Länge, indem er das eine Ende desselben mit einer Spiritusflamme erwärmt, und fügt dann hinzu: ähnliche Umstände werden auch bei der Circulation innerhalb der Atmosphäre eintreten *müssen* und nun werden eine Menge bekannter aus dem gegenseitigen Verdrängen der beiden Ströme in meinen »meteorologischen Untersuchungen abgeleiteter Erscheinungen auf diese »Wogen der Luft« zurückgeführt. Wem bekannt ist, mit welcher Vorsicht Daniell in seinen *Meteorological Essays* 1823 die Einwirkung jener übereinander gelagerten entgegengesetzten Ströme discutirt hat und wie wenig seine Theorie Anklang gefunden, mufs billig erstaunen, dafs eine so freie Bearbeitung jener Hypothese 34 Jahr später in Deutschland unter dem Titel die Wogen der Luft erscheint. Gegen diese Ansichten aufzutreten, schien mir unnöthig, da die Wahl zwischen nachweisbaren physikalischen Ursachen und einem hypothetischen Deckel in der Atmosphäre nicht schwierig erscheint. Jetzt aber, wo Hr. Vettin seiner Beobachtungen des Rauches zu Liebe selbst die Facta umkehrt, wie sie durch Hunderte von Beobachtungen in wenigstens 50 Abhandlungen festgestellt sind, habe ich es

für meine Schuldigkeit gehalten dagegen auf das Entschiedenste mich auszusprechen.

Ich bin weit entfernt irgend an der Richtigkeit der Beobachtungen selbst zu zweifeln und glaube, daß der Tabakrauch, welchen man zur Sichtbarmachung akustischer Schwingungen mit Erfolg angewendet hat, auch ein passendes Mittel abgibt, die durch Wärme verursachten Bewegungen einer gegebenen Luftmasse sichtbar zu machen, was mit Berücksichtigung aller dabei entstehenden Bedingungen zu Resultaten über die Bewegungen einer auf eine bestimmte Weise durch Wände abgegränzter Luftmasse führen kann. Auch zweifle ich gar nicht, daß die Experimente sinnreich angestellt, da ich gehört habe, daß Hr. Vettin unter anderen physikalischen Apparaten auch einen sehr zweckmäßigen Windmesser construiert hat, der sich durch große Einfachheit empfiehlt. Diefes hat mich aber nicht abhalten können, gegen die zu hastige Verallgemeinerung der daraus gewonnenen Ansichten auf große atmosphärische Phänomene aufzutreten. In einem so verwickelten Gebiet, wie dem der atmosphärischen Erscheinungen, kann man nur Schritt für Schritt vorschreiten. Bei der immer mehr in der heutigen Physik um sich greifenden Sucht auf wenige empirische Prämissen ausgedehnte Speculationen zu gründen, weit über die Grenzen hinaus, bis zu denen der Prüfstein des Experimentes reicht, würde die Meteorologie, wenn sie ihr folgte, jeden festen Boden verlieren.

X. Ueber den Ozongehalt der Atmosphäre; von Fr. Neumann.

Da mir durch die Güte der einzelnen Herren Observatoren von den Beobachtungsstationen der österreichischen Monarchie die Resultate mehrjähriger, theilweise noch nicht veröffentlichter Ozonbeobachtungen zugekommen sind, habe ich eine Vergleichung derselben mit den Angaben des Hrn. Dr. Wolf in Bern, jenen des Radcliffe *observatory* zu Oxford, so wie den Schiefferdecker'schen zu Königsberg u. A. versucht, deren Ergebniss ich in Kurzem hier mittheilen will.

Wenn man vorerst den Zusammenhang der Ozonschwankungen mit denen der anderen meteorologischen Elemente prüft, so ergibt sich:

1. *Die Luft-Elektricität, als Quelle des atmosphärischen Ozons, hält mit demselben gleichen Gang.* — Die sehr emsigen Kremsmünsterer Beobachtungen, wie auch jene Quetelet's (Brüssel), Dr. Lamont's (München) und Dr. Böckel's (Straßburg) beweisen, dass in allen jenen Fällen, wo die Luft-Elektricität durch unsere Instrumente genau wahrnehmbar ist, und die Beobachtung nicht wegen gewisser atmosphärischer oder localer Umstände unsicher wird, der Ausschlag des Elektrometers im geraden Verhältnisse zur Ozonreaction steht; herrannahende Gewitter, die von Niederschlägen begleitet sind, Hagelfälle, Blitzschläge und St. Elmsfeuer zeigen in auffallender Weise die Richtigkeit dieses Satzes.

2. *Atmosphärische Feuchtigkeitsmenge und Ozongehalt stimmen überein.*

In wie fern dieses Gesetz aus den Monatsmitteln der einzelnen Stationen hervorgeht, ergibt die nachfolgende Tabelle:

	Station.	Mittl. Feuch- tigkeits- gehalt.	überschritten in den Monaten	Mittl. Ozon- gehalt	überschritten in den Monaten
1854.	Wien	72,2	Jan. Febr. April Oct. Nov. Dec.	4,7	Jan. Febr. März Oct.
	Prag	75,16	Jan. Febr. März Oct. Nov. Dec.	1,21	Febr. März Aug. Nov. Dec.
	Krakau	80,3	Jan. Febr. März Aug. Nov. Dec.	3,94	Febr. März April Mai Juni Oct. Dec.
	Kremsmünster	78,9	Jan. Febr. März Oct. Nov. Dec.	5,44	Jan. Febr. März Juni Nov. Dec.
	Stanislaw	79,9	Jan. Febr. März Aug. Dec.	6,27	Jan. Febr. März April Juni Dec.
1855.	Wien	73,8	Jan. Febr. Oct. Nov. Dec.	3,8	Jan. Febr. März April Mai
	Prag	79,35	Jan. Febr. März Oct. Nov. Dec.	1,52	April Mai Juni Juli Aug. Oct.
	Krakau	82,5	Jan. Febr. März Nov. Dec.	4,12	Jan. Febr. März April Mai Juni
	Kremsmünster	81,92	Jan. Febr. März Sept. Oct. Nov. Dec.	5,0	Jan. Febr. März Apr. Mai Nov. Dec.
	Lemberg	78,45	Jan. Febr. März Sept. Nov. Dec.	5,7	Jan. März April Mai Oct. Dec.
	Stanislaw	78,2	Jan. Febr. März Juli Sept. Oct. Nov. Dec.	6,5	Jan. Febr. März April Juni Oct. Dec.
1856.	Kremsmünster	80,32	Jan. Febr. Sept. Oct. Nov. Dec.	4,67	Jan. Febr. März Nov. Dec.
	Krakau	78,7	Jan. Febr. März Oct. Nov. Dec.	3,32	Febr. März Mai Juli Aug. Sept. Nov.
	Stanislaw	76,8	Jan. Febr. März Sept. Oct. Nov. Dec.	6,7	Febr. März Mai Juni Sept.

Allerdings würden zu solchem Zwecke die Jahresmittel dem wahren Ausdrucke für die regelmässigen Aenderungen der beiden Grössen viel näher kommen, ich habe jedoch deren Vergleich vermieden, weil die ozonometrischen Ap-

parate *verschiedener* Stationen nur unzuverlässige Daten uns an die Hand geben.

Bei Weitem treffender ergibt sich dieses zweite Gesetz aus der Zusammenstellung der verschiedenen Aggregationszustände der Luftfeuchtigkeit mit den correspondirenden Ozonbeobachtungen, welche man aus den folgenden ersieht:

Luft-Feuchtigkeits- Formen	Ozon-Gehalt beobachtet zu:			
	Bern	Königsberg	Kremsmünster	
			1854	1855
keine d. i. heiter	4,86	6,9	3,71	3,60
Nebel	5,13		5,84	5,31
Regen	11,40	8,9	6,86	5,86
Schnee	14,15	10,1	8,93	7,82
Eiskrystallbildung			11,00	

gleiche, wenn auch nicht numerisch mir zugängliche Resultate fand Prof. Schönbein in Basel, so wie die K. K. Central-Anstalt für Meteorologie und Erdmagnetismus in Wien.

3. *Die Intensität des Windes vermehrt die Ozonreaction*; die Windrichtung hat nur durch den größeren oder geringeren, eigenthümlichen Feuchtigkeitsgehalt Einfluss; für Kremsmünster und Bern ist der West- und Südwest-Wind am ozonreichsten.

4. *Temperatur und Ozongehalt stehen zu einander im verkehrten Verhältnisse*. Für Kremsmünster fand man, dafs im Jahre 1855

an Tagen von hoher Temperatur (über 13,5° R.)

der Ozongehalt im Mittel 2,33,

an Tagen von tiefer Temperatur (unter 6° R.)

der Ozongehalt im Mittel 6,31

betrug. Auch die folgende Zusammenstellung macht dieses Gesetz ziemlich anschaulich:

Station	1854.				1855.			
	Temperatur- Maximum	Ozon	Temperatur- Minimum	Ozon	Temperatur- Maximum	Ozon	Temperatur- Minimum	Ozon
Krakau	15,03	2,9	— 1,90	4,5	15,15	4,8	— 8,42	2,6
Wien	16,14	3,6	— 0,81	5,2	15,81	3,6	— 4,50	3,6
Kremsmünster	14,91	4,1	— 2,30	8,2	14,61	2,8	— 5,10	6,3
Senftenberg	12,81	7,0	— 2,66	9,1	12,25	8,3	— 6,79	9,5
Stanislaw	15,96	5,3	— 2,70	8,7				
Lemberg,					16,52	4,7	— 6,23	6,3
Czaslau					14,94	4,7	— 5,48	8,0
St. Maria					5,44	6,4	— 12,04	7,1

Die Ursache davon liegt theilweise, wie Schönbein glaubt, in der chemischen Natur des Ozons, theilweis darin, dafs bei warmer Luft durch die oxydirbaren Bestandtheile der Erdoberfläche ein immerwährender Zerstörungsprocefs des Ozons vor sich geht.

5. *Niederer Barometerstand und starker Ozongehalt fallen in der Regel zusammen.* Dafür sprechen die Berner und Kremsmünsterer Beobachtungen, allein die Königsberger (Schiefferdecker'schen) und die der meisten österreichischen Stationen ergeben widersprechende Resultate; wir unterlassen es daher die Monatsmittel derselben mitzutheilen.

Nach einer brieflichen Mittheilung des Hrn. Th. Brorsen in Senftenberg, soll erfahrungsmäfsig der Ozongehalt, mit bedeutenden Barometerschwankungen zusammenhängen, indem diese in unseren Breiten Nachwirkungen der elektrischen Entladungen der Tropengegenden sind.

Wenn man die Ozonschwankungen an und für sich verfolgt, so läfst sich bisher eine einzige *Periode* und zwar die *tägliche* nachweisen, da regelmäfsig *bei Nacht höhere bei Tag niedere Ozonreactionen* beobachtet werden. Dafür sprechen *alle* österreichischen, eben so wie die Mühlhausener

(Dr. Gräger), Königsberger, Straßburger und Oxforder Daten.

Die noch nicht bewiesene *jährliche* Periode soll ihr Maximum im Februar oder Januar, ihr Minimum im Juli oder September haben; wahrscheinlich hat der meteorologische *Winter* den meisten, der *Sommer* den geringsten Ozongehalt, während Frühjahr und Herbst die Uebergänge bilden.

Wien, am 1. October 1857.

XI. *Zum Meteoriten von Hainholz; von Frhr. v. Reichenbach.*

II.

In meiner jüngsten Notiz ¹⁾ über den merkwürdigen Meteoriten von Hainholz habe ich unter anderem mitgetheilt, daß sich darin abgesonderte Knollen vorfinden, die dem Hauptbestandtheile nach aus Olivin bestehen und in ihrer Verbindung mit dem ganzen Steine als Meteoriten im Meteoriten erscheinen. Ich habe ihn seitdem bei guter Vergrößerung vielseitig weiter geprüft. Es zeigte sich nun, daß diese Knollen außer Olivin noch viele feine Gemengtheile enthalten, worunter eingesprengte metallische Eisenpartikeln und Schwefeleisenkrystalle reichlich sich befinden, alles im Verhältnisse zu dem Gemenge, das den ganzen Meteoriten ausmacht, in sehr verkleinertem Maafsstabe. Diese Feinheit geht so weit, daß die metallischen Pünktchen, ungeachtet der ihnen beigebrachten Politur, dem freien Auge entgehen und nur unter dem Mikroskope bei 200facher linearer Vergrößerung deutlich sichtbar werden. Auch der Menge nach enthalten diese Knollen verhältniß-

1) Annalen Bd. CI, S. 311.

mäßig ohne Vergleich weniger metallische Einschlüsse, als die Hauptmasse des Steines, so wenig, daß sie nicht einmal auf die Färbung Einfluß nehmen, während in Letzteren das Eisen den vorwaltenden Bestandtheil ausmacht. Sie sind also in der That Meteoriten für sich von viel kleinern Verhältnissen der Gemengtheile als die der ganzen Luftsteine, in welchen sie eingeschlossen zu uns gelangen.

Mittlerweile habe ich viele Stücke von Hainholzer Aërolithen durchschneiden und poliren lassen. Da ist dann abermals eine interessante meteoritologische Neuigkeit zu Tage gekommen, nämlich einzelne zerstreute *Kugeln von metallischem Eisen* von der Größe einer kleinen Erbse bis zu der einer mittleren Kirsche, d. i. bis zu 22 Millimeter Durchmesser. Diese Erscheinung ist noch nicht da gewesen. Wir besitzen Eisen in Meteorsteine eingemengt in Form eines Bindemittels für die steinige Substanz, am deutlichsten in Atakama, Pallas u. a., wo es sichtlich ein Netz bildet, das die übrigen Bestandtheile umfaßt, einschließt, und sich ihrer Gestalt klammerartig anschließt. Hier aber erhalten wir umgekehrt das Eisen als selbstständigen Einschluss, mit eigener, innerer Ausbildung, nicht die Steinsubstanz einschließend, sondern von derselben eingeschlossen und von ihr umlagert; auch nicht mit dem übrigen reichlichen Eisen des Meteoriten zusammenhängend, sondern ganz selbstständig, für sich abgerundet und von eigenthümlichem innerem Gefüge: es sind metallische Individuen von Meteoriten in einen andern steinigen Meteoriten fertig aufgenommen und darin eingelagert. Auch das Gefüge ist ganz ein anderes; es besteht aus rundlichen, abgesonderten, kleinen Eisenkörnern, welche noch kleinere rundliche Schwefeleisenpartikel in sich enthalten. Ueberläßt man die polirte Schnittfläche der Luft, so überzieht sie sich in wenigen Tagen, ja Stunden mit einer Efflorescenz von Eisenrost; die Kreisfläche bedeckt sich ganz damit und wird garstig, während alles andere Eisen des Meteoriten blank bleibt. Aetzt man sie mit Salpetersäure an, so entsteht Schwefelwasserstoffgasgeruch und es kommen

zwar keine bestimmten Widtmannstetten'schen Figuren darauf zum Vorscheine, wohl aber alle Elemente dazu, namentlich an vielen Stellen das charakteristische blattartige Leisteisen, welches Hr. Haidinger (nicht aber Hr. Shepard) Schreibersit genannt hat (eine Benennung, der ich ihres Uebellautes halber nicht beistimmen möchte), das viele von den Eisenkörnern theils als Einfassung umgiebt, theils in geraden Linien durchsetzt, wie dieß in der Mehrzahl der Meteoreisenmassen der Fall ist.

Die Veranlassung zu dem Roste kommt aus den Ablösungen hervor, welche die kleinen Körner, aus denen die Eisenkugeln bestehen, unter sich bilden. Sichtlich kommen sie nach Art eines Dunstes aus ihnen hervor und überziehen die blanke Außenseite mit Rost. Es ist bereits die Meinung ausgesprochen worden, daß Chlor hier vorhanden und activ sey. — Wenn man diese knolligen Eisenkugeln, welche sich aus der Masse des Meteoriten absondern lassen, und bisweilen von selbst absondern, unzertheilt der Luft überläßt, so bekommen sie Risse, schwel len auf, bersten, entwickeln Rostefflorescenzen und würden in Bröckchen zerfallen, wenn man sie sich selbst überliesse, gerade wie es die meteorische Eisenmasse von Ashvillę thut, der man auch Chlorgehalt beimist, und die ich in Steinöl aufbewahren mußte, um sie vor gänzlicher Zerstörung zu retten.

Diese Eisenkugeln sind als selbstständige Massen, die erst *nach vollbrachter Bildung* in die Gesamtmasse des Meteoriten eingeknetet wurden, nothwendig älter als dieser. Und wie ich früher gezeigt habe, daß selbstständige ältere olivinige Meteorsteinmassen in dem Luftsteine von Hainholz eingeschlossen sich vorfinden, so sehen wir nun, daß auch selbstständige ältere Eisenmassen darin eingebettet sind, also Meteorsteine und Meteoreisenmassen von früherem Herkommen eingeschlossen in Meteorsteine von jüngerer Erzeugung.

Die Meteorsteine sind folglich nicht schnell, sondern sie sind langsam entstanden; von ihren Bestandtheilen hat

einer nach dem andern seine Stelle eingenommen. Wir sind bereits im Stande an ihnen, wie auf der Rinde unseres Planeten, verschiedene Bildungsepochen zu unterscheiden, und es eröffnet sich die Aussicht, zum Nachweis einer Zeitfolge ihrer Bestandtheile, einer Art von Geologie der Meteoriten, wenn mir die uneigentliche Benutzung des Wortes hier erlaubt ist, zu gelangen, die sich durch fortgesetzte Beobachtungen weiter entwickeln und dann vielleicht Rückschlüsse auf die Hergänge bei der Bildung des Erd-Innern zulassen wird.

XII. *Ueber die Meteoriten aus dem Tolucahale in Mexiko; von Frhr. v. Reichenbach.*

III.

Den Bemühungen der HH. Stein, Krantz, Schleiden, Burkart, Ordunez, u. a. m. verdanken wir vom Jahre 1784 an bis heute eine Reihe meteorischer Eisenmassen, die unter den Namen Toluca, Tejupilco, Xiquipilco, Ixtlahuaca u. s. w. aus dem Tolucahale, in Mexico nach Europa, größtentheils nach Deutschland gekommen sind. Früher wurden einzelne schwere Massen dort entdeckt; neuerlich hat Hr. Krantz zu Bonn eine genaue Nachsuchung anstellen lassen und von diesem Streifzuge nicht weniger als 73 kleine Eisenmeteoriten erhalten. Man ist darüber längere Zeit nicht einig gewesen, ob diese entlang eines Striches von einer deutschen Meile zerstreut gefundenen Eisenmassen mehreren oder nur einem Meteoritenfalle zugehören. Hierüber werden die Zweifel nunmehr schwinden.

Vor Kurzem empfing ich einen Abschnitt von einem solchen Eisen, den Hr. Krantz von einer 42 Pfund schwe-

ren Masse hatte nehmen lassen, wovon er viele Exemplare unter dem Namen Tejpilco an die europäischen Sammlungen abgegeben hat. Er wog etwas über 2 Pfund. Darin fanden sich große Flecke von hochgelbem und von blasgelbem Schwefeleisen; Graphit zeigte sich und Widtmannstetten'sche Figuren unter Kreuzungswinkeln von 60 Graden kamen auf der ganzen Schnittfläche beim Anätzen zum Vorscheine. Das sind jedoch alles bekannte gewöhnliche Dinge.

Nun stieß ich aber bei der Betrachtung auf etwas Ungewöhnliches: es zeigten sich mitten im Eisen ziemlich große Stücke von steiniger Beschaffenheit, theils dunkelgrau, mit gelben durchsichtigen Flecken, theils gelblich hellbraun, grobkörnig, ritzbar von Topas, nicht ritzbar von Quarz, den äußeren Merkmalen nach als Olivin sich verhaltend. Man hat bei der Lösung verschiedener Meteor-eisen in Säuren als Rückstand mehrfältig feine unlösbare Körnerchen gefunden, die darin eingesprengt gewesen seyn mußten; allein hier kamen zusammengesetzte größere ausgebildete Steinmassen im Eisen, wie wir sie noch nie gesehen haben, eckige Stücke von 10, von 14 Millimeter Durchmesser, ja eine zusammenhängende Steinbildung von 40 Millimeter, also von fast $1\frac{1}{2}$ Zoll Länge zum Vorscheine. Ich lege eine beiläufige Zeichnung davon bei Fig. 24, Taf. III auf welcher die punktirten Stellen *a* dem Olivin, die schraffirten Stellen *c* auf der Schnittfläche Schwefeleisen andeuten.

Unlängst hatte ich von Hru. G. A. Stein zu Darmstadt einen schönen Meteoriten aus dem Tolucahale von fast 17 Pfund angekauft. Er wog ursprünglich $19\frac{1}{2}$ Pfund und kam aus der Nachbarschaft der Hazienda Maui (sprich Manji). Das abgetrennte Stück von $2\frac{1}{2}$ Pfund war zum Theil abgefeilt, zum Theil abgebrochen. Bruchfläche und Schnittfläche zeigten sich nicht überall metallisch, sondern zum großen Theile matt, steinig und blaugrau. Genau betrachtet war dies nicht Eisen, nicht Graphit, noch weniger Schwefeleisen, sondern deutlich eine Substanz, von weißen und gelben Körnern durchsprengt, und ganz über-

einstimmend mit den olivinigen angeschliffenen Parthien in obigem Meteoriten von Tejupilco. Hier erlangte die Erscheinung einen knolligeckigen Zusammenhang von 63 Millimeter, also von fast $2\frac{1}{2}$ Zoll Länge.

Weiter habe ich ein von Hrn. Stein erworbenes Stück Meteoreisen von $9\frac{1}{4}$ Pfund, welches von einer 230 Pfund schweren Masse abgeschnitten war, die Hr. Ordunez im Tolucahale in einer Seitenschlucht, Bata, gefunden und an Hrn. Stein verkauft hatte. Auch auf diesem zeigten sich eingesprengte Olivine, weniger zwar, aber ebenso entschieden mit denselben Beschaffenheiten ausgestattet.

Endlich besafs ich noch einige kleinere Meteoreisen aus dem Tolucahale, die ich von Hrn. Krantz mit Angabe des Fundortes Ixtlabuaca empfangen, einen von 3 Pfund, dann von 2 und einige von 1 Pfund, die ich jedoch als *ganze* Aerolithe nicht gerne zerschneiden lassen mochte. Aber alle zeigten auf der Rinde schon Merkmale von Einschlüssen, die nicht aus Eisen, sondern aus einer steinigen Substanz bestanden.

Wir haben also hier, zunächst für die *specielle* Kenntnifs der Toluca-Meteoriten, ein gemeinsames eigenthümliches Merkmal gewonnen, das diejenigen alle in besondere Weise mit einander verbindet, die ganz oder theilweise in meine Hand gekommen sind, und das ihnen einen gemeinsamen Artcharacter giebt. Es läfst sich daraus inductorisch schliessen, dafs er allen den Tolucaeisenmassen mehr oder minder zukommen wird. Und daraus folgt dann weiter, dafs diese nahe beisammen, mit einer so eigenthümlichen Beschaffenheit, die bei keinem bekannten anderen Aërolithen sich wiederfindet, ausgerüsteten meteorischen Eisenmassen unzweifelhaft von einem und demselben Meteore und Meteoriten Regen herrühren und sich sofort in eine einheitliche Haupterscheinung verringern.

Aber für die *generelle* Kenntnifs der Gesamtgeschichte der Aërolithen gewährt diese Erscheinung eine bedeutendere Ausbeute. Sie zeigt uns zum ersten Male mit Entschiedenheit, dafs gröfsere Steinpartikeln in Eisenmassen

vorkommen können und hier thatsächlich vorkommen. Diefs haben wir bisher noch nicht gesehen; das Tolucaeisen ist der erste bekannte Luftstein, der in dieser Form auftritt.

In meinen heiden letzten Notizen (in d. Ann.) habe ich gezeigt, dafs es *Meteorsteine* giebt, in welchen selbstständige *Eisenkugeln* eingelagert als Meteoriten in Meteoriten vorkommen; heute komme ich mit der umgekehrten Beobachtung, dafs es *Meteoreisenmassen* giebt, in welchen selbstständige zusammengesetzte *Steinknollen* eingelagert als Meteoriten in Meteoriten auftreten.

Beide Thatsachen sind für unsere Kenntnifs der Gesammterscheinung der Himmelsteine von wesentlicher Bedeutung; sie verbinden und verketten nämlich die Steinmeteoriten mit den Eisenmeteoriten nunmehr unmittelbar und so innig, wie diefs bis jetzt bei weitem nicht der Fall war. Zwar haben wir in Pallas, Atakama und Bittburg eine Art von Zwischengliedern zwischen Stein- und Eisenmassen; diefs ist jedoch nur scheinbar, alle drei sind nur *Meteorsteine* von gröberem Korne; wie in allen anderen eisenreichen Meteoriten, wie zu Smolensk, Wessely, Blansko, Seres feinere Eisenetze, feinere Olivine, Anorthite, Augite umschliessen, so umschliessen in jenen gröbere Eisenetze gröfsere Olivine; die Structur bleibt dieselbe und Pallas, Atakama und ähnliche gehören mit vollem Rechte den *Meteorsteinen* an. Es fehlten uns also bisher noch wesentliche Verbindungsglieder, die den Uebergang von blofsen Steinen ohne Eisen, wie Stannern, Bishopville, Juvenas, vermittelten mit allen blofsen Eisenmassen ohne Steine, deren wir viele besitzen. Wir hatten keinen Meteorstein mit untergeordneten individuellen Eisenmassen; jetzt haben wir sie in Hainholz; umgekehrt hatten wir keine ausgesprochenen Meteoreisen mit untergeordneten Steinmassen, nunmehr haben wir auch diese in Toluca. Sie verknüpfen die Reihe auf beiden Seiten und füllen auf jeder die bisher bestandenen Lücken so aus, dafs nunmehr sämtliche Meteoriten als eine fortlaufende Reihe von Individuen eines Genus von Naturerschei-

nungen dastehen, die einen gewissen Grad von Vollständigkeit besitzt, damit das wissenschaftliche Interesse in einem erhöhten Grade in Anspruch zu nehmen berechtigt ist und mehr Befriedigung gewähren muß, als dieß bis hieher möglich war. Die Meteoriten sind nicht mehr unzusammenhängende einzelne Seltsamkeiten, sondern sie lassen sich ihrem inneren Einbaue nach, so verschiedenartig sie auch in den beiden Endpunkten der Reihe aufzutreten scheinen, dennoch alle ohne Annahme unter viele gemeinschaftliche Gesichtspunkte nunmehr zusammenfassen; der Entstehungs- und Bildungszusammenhang aller unter einander kommt mit Klarheit und Einheit zum Vorscheine; man erkennt jetzt, daß sie augenscheinlich alle aus einer und derselben Werkstätte hervorgehen; es tritt eine gewisse Gesetzmäßigkeit in ihrem Baue an das Tageslicht, welchen das Studium folgen kann, und die zu höherer Ausbildung der Meteoritenkunde als belangreichem Zweige der Naturwissenschaft leiten muß.

XIII. *Ueber die Dichtigkeit des Ozons; von Th. Andrews und P. G. Tait.*

(Aus den *Proceedings of the Roy. Society Vol. VIII.* 498.)

Wie bekannt kann das Ozon nur gemengt mit einem großen Ueberschuß von Sauerstoff erhalten werden. In einer früheren Mittheilung eines der Verfasser dieser Notiz wurde gezeigt¹⁾, daß bei der Elektrolyse eines Gemisches von 8 Theilen Wasser und 1 Theil Schwefelsäure die mittlere Menge des Ozons nicht 0,0041 Grm. in 1 Liter Sauerstoff oder $\frac{1}{250}$ übersteige. Bei Anwendung eines Gemisches aus gleichen Volumen Säure und Wasser kann die relative Menge des Ozons verdoppelt werden; allein selbst bei Ozon in diesem concentrirteren Zustand sind die gewöhnlichen Methoden zur Bestimmung der Dichtigkeit eines

1) Ann. Bd. XCVIII, S. 435.

Poggendorff's Annal. Bd. CII.

Gases ganz unanwendbar. Die Schwierigkeit vergrößert sich noch durch die rasche Wirkung des Ozons auf Quecksilber, welche es unmöglich macht, dasselbe über diesem Metall aufzufangen und zu messen; und die Spannung der Wasserdämpfe, so wie die allmähliche Zerstörung des Ozons durch Wasser, hindert auch am Gebrauch des letzteren. Nach vielfältigen Versuchen wurde zuletzt die Methode angewandt, die Volumenänderung zu messen, welche das ozonhaltige Gasgemenge durch Erhitzung bis 230° C. oder höher erleidet. Stets zeigte sich das Volum nach dieser Behandlung vergrößert. Indem sie die Effecte der während des Versuches eingetretenen Temperatur- und Druckveränderungen mit Hülfe eines ähnlichen Gefäßes wie das, welches das Ozon enthielt, eliminirten, gelang es den Verfassern, die erfolgende Volumveränderung bis auf einen äußerst kleinen Bruchtheil des Ganzen abzuschätzen.

Die bei verschiedenen Versuchen angewandten Gefäße faßten 200 bis 600 CC. und endigten in U-förmigen Röhren von etwa 2 Millimeter Durchmesser, welche Schwefelsäure enthielten. Den Betrag an Ozon ermittelte man, indem man einen Strom des Gases durch zwei andere Gefäße leitete, eins auf jeder Seite des zu erhitzenden, und darauf den Inhalt derselben nach der schon in der früheren Mittheilung beschriebenen Methode analysirte. Es war leicht, eine Druckveränderung im Betrage von $\frac{1}{10000}$ des Ganzen mit Sicherheit zu messen; allein wegen der gewöhnlichen Schwankungen des atmosphärischen Drucks zwischen zwei auf einander folgenden Beobachtungen des ursprünglichen und der beiden seitlichen Gefäße war es selten möglich diesen Grad von Genauigkeit zu erreichen.

Die experimentellen Data sind noch nicht vollständig reducirt und einige kleine Berichtigungen noch nicht erforscht; allein das allgemeine Resultat der Untersuchung, welche sich sehr in die Länge zog, gab, (in der Annahme, daß das Ozon nichts als Sauerstoff in einem allotropischen Zustand sey), für die Dichtigkeit desselben, verglichen mit der des Sauerstoffs, beinahe das Verhältniß 4:1.

XIV. *Der Tonflammenapparat;* *von F. G. Schaffgotsch.*

Unter obiger Bezeichnung will ich eine kleine Vorrichtung beschreiben, welche mir besonders geeignet scheint zu Versuchen über die Wirkung von Tönen auf Gasströme und Gasflammen und zwar sowohl zu den bereits in diesen Annalen, Bd. CI. S. 471 angeführten Versuchen, als auch zu ganz neuen, mit denen ich noch gegenwärtig beschäftigt bin und deren Veröffentlichung, zugleich mit genauen Angaben über die Benutzung des Apparates zu den früheren Versuchen, ich mir vorbehalte. Ich gebe also hier nur die Bauart und die Maafsverhältnisse der Taf. V, Fig. 5 abgebildeten Geräthschaft.

In der Mitte eines viereckigen, 25^{mm} dicken Brettes von Eichenholz, dessen wagerechte Kanten 240^{mm} und 105^{mm} messen, steht senkrecht eine runde, 320^{mm} hohe und 10^{mm} dicke Eisenstange, auf welcher sich zwei verschiedene, von einander unabhängige Stücke mit geringer Reibung auf- und niederschieben und durch Klemmschrauben in beliebiger Höhe festhalten lassen, nämlich, von unten an gerechnet:

1) eine hohle Messingkugel von etwa 30^{mm} Durchmesser, welche, übrigens gasdicht gearbeitet, in zwei Messingröhren mündet, die eine 8^{mm} weit und 25^{mm} lang, in der Zeichnung parallel der kürzeren Brettkante und in das eine Ende eines 7^{mm} weiten und 90^{mm} langen Kautschukschlauches geschoben, die andere ungefähr ebenso weit, 40^{mm} lang, in der Zeichnung der längeren Brettkante parallel und am Ende eine Messingfassung tragend, in die ein gewöhnlicher porcellanener 24-Lochbrenner gasdicht eingekittet ist, welcher sammt Fassung 47^{mm} hoch, äusserlich 22^{mm} und innerlich, d. h. über den Luftkanal weg gemessen, 11^{mm} weit ist,

2) eine 43^{mm} lange (und 10^{mm} weite) Messinghülse, an
40 *

welche eine zweite von 32^{mm} Länge und 4^{mm} Weite parallel angelöthet ist. In diese letztere ist oberhalb eingehakt und in ihr mit starker Reibung drehbar der 25^{mm} lange senkrechte Schenkel eines rechtwinklig gebogenen Messingdrahtes, dessen wagerechter, 45^{mm} langer und in der Figur der längeren Brettkante paralleler Schenkel eine aus weichem, doch schwach federndem Messingblech cylindrisch gebogene, 26^{mm} hohe und 22^{mm} weite senkrechte Klammer trägt, welche der Ansatzstelle des Drahtes gegenüber senkrecht aufgeschlitzt ist.

Auf der Ebene des Brettes liegen, durch Drahtbügel festgehalten, zwei symmetrische, gekrümmte und zwar ihre Wölbung der Brettmitte zukehrende, je 85^{mm} lange und 6^{mm} weite Messingröhren, welche durch ein Hahnstück, worein sie in der Mitte der vorderen, dem Beschauer zugewandten längeren Brettkante gemeinschaftlich einmünden, mit einer sammt dem Hahnstück 100^{mm} langen und 8^{mm} weiten Messingröhre in Verbindung stehen. Diese letztere ist auf die Brettmitte geradezu gerichtet und ragt wagerecht über das Brett hinaus. Sie trägt ferner 30^{mm} von ihrem vorderen dem Beschauer zugewandten und zum Einleiten des Gases bestimmten Ende ein zweites Hahnstück, welches auf ihr senkrecht steht und oberhalb in eine rechtwinklig gebogene, auf die Eisenstange geradezu gerichtete, 6^{mm} weite Röhre ausgeht, deren wagerechter (der unteren Röhre paralleler) Theil, welcher 30^{mm} misst, in der zweiten Oeffnung des oben erwähnten Kautschukschlauches steckt und deren Mitte von der Mitte der unteren Röhre 40^{mm} absteht. Die beiden freien Enden der gekrümmten Messingröhren gehen ohne Durchmesseränderung in zwei 16^{mm} hohe senkrechte Ansätze über, welche zur Aufnahme zweier gut eingeschliffenen, konisch gebohrten messingenen Brennerspitzen dienen. Diese Spitzen sind unten 3^{mm}, 5, oben 1^{mm} weit, ragen 60^{mm} über das Brett hervor und können jeden Augenblick durch beliebige andere Spitzen oder Korke ersetzt werden. Sie stehen von der Eisenstange beiderseits gleich weit ab und liegen in einer durch

diese und durch die Mittelpunkte der kürzeren Brettkante gelegt gedachten Ebene. Die Figur stellt die rechte Spitze in der Axe eines von der geschlitzten Messingklammer gehaltenen 273^{mm} langen und 21^{mm} weiten Glasrohrs und die linke, die punktirte, in der Axe des Porcellanbrenners dar, welcher soweit hinabgeschoben ist, daß die in den Luftkanal frei hineinragende Spitze von der ringförmigen, durchlöcherten Oberfläche desselben 10^{mm} absteht.

Es ist vortheilhaft, in dem Brette einige senkrechte Bohrlöcher zur Aufbewahrung solcher Spitzen und Korke anzubringen, welche augenblicklich nicht gebraucht werden. Diese Löcher fehlen in der Zeichnung.

Berlin den 22. December 1857.

XV. Ueber die Constitution der Seifen-Blasen; von Dr. V. S. M. van der Willigen.

Wenn man ein wenig Seifen-Lösung in einer Flasche thut und schüttelt, so daß eine gute Blase entsteht und man legt nun die Flasche auf die Seite, so sieht man erst wie Stängelchen auf der Blase hinunterlaufen, und bald darauf eine Decke langsam von der Blase abgleiten, in welcher sich die Newton'schen Farben-Ringe entwickeln, wie in einem gewöhnlichen Iriskop. Nach einiger Zeit entsteht oben auf der Blase ein schwarzes Segment, das stets größer und größer wird, weiter und weiter sinkt, dann die farbige Decke hinunter, während ihr oberster grauer und weißer Theil, der noch vor dem ersteren farbigem Ringe liegt, stets dabei schmaler wird. Im schwarzen Segmente sieht man hin und wieder noch kleine weißgelbe Kügelchen heruntreiben und an der Decke selbst steigen stets farbige geschwänzte Kügelchen hinauf, die nicht früher Halt machen, als wenn sie in dem farbigen Ringe von

niederer Ordnung angekommen sind, dessen Farbe sie besitzen; und sind diese aufsteigenden Kügelchen ganz schwarz, so vereinigen sie sich erst mit dem schwarzen Segmente. Es ist wohl außer allem Zweifel, daß beim Uebergang vom Schwarz zu dieser farbigen Schicht, die die eigentlichen Farben trägt, ein gewisser *Sprung* stattfindet. Eisenlohr meint ¹⁾, daß dieser Sprung genügend erklärt sey, indem er annimmt, daß die Blase sich in verschiedene Schichten von der Dicke eines Atoms auflöst und der Sprung vom ersten zum zweiten (daß ist vom schwarzen Segmente zum ersten Weißen) nur deshalb so viel besser bemerkt werde in Bezug auf die übrigen Folgenden, die bei jedem Farbenwechsel eintreten müßten, weil hier im Anfang die Differenz der Dicken in Bezug auf die Dicke selbst so ansehnlich ist.

Dieser Versuch gelingt nicht mit harten Seifen; die farbige Decke scheint hier zu zähe und sie bewegt sich nur träg und unregelmäßig; mit flüssigen (nicht harten) Seifen gehts weit besser, aber am aller besten mit sogenannter Terpentin- oder Cocosseife. Bei dieser letzten Seife scheint die Decke überaus flüssig und wenig viscos zu seyn, da hier das Farbenspiel am schnellsten eintritt, die auf dem Segmente nachkommende Kügelchen am kleinsten sind und auch die Farbe des obersten äußersten Randes am tiefsten, bis zum ersten Grau hinuntergeht.

Während des Processes sieht man den Farbenton des obersten Randes langsam in der Scala steigen, bisweilen wohl vom Grau zum ersten Gelb oder Orange. Diefes deutet auf eine sehr langsame Zunahme in Dicke, und doch würde der erste Sprung so groß seyn; mir scheint wenigstens dieser Unterschied zu bedeutend, um mich damit zu begnügen und schon von vornherein kann man sagen, daß der Zuwachs in Dicke hier für den Uebergang vom Schwarz des Segments zu dem Grau des Randes weit größer und

1) Bericht über die XXIXte Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte im Sept. 1856 S. 86.

daher reinerer Natur seyn muß als für den Uebergang von Grau oder Weiß zu dem nächst höheren Farben-Ton.

Die Stängelchen schon, welche beim Anfang des Versuches auf der Blase dahin laufen, weisen auf eine Ungleichartigkeit in der Seifenlösung selbst hin; es ist als wenn sich eine ölige Flüssigkeit aus einer wässerigen ausscheidet. Das Trübwerden, das man bald nach einiger Zeit in einer klaren Seifenlösung verspürt, und der Zustand, den ich eine Art Verwesung oder Zersetzung nenne, worin ich öfters meine Seifenlösung vorfand, beide weisen darauf hin, daß wenigstens in dieser wässerigen Lösung eine gewisse Decomposition auftritt, wodurch Ausscheidung von freier Fettsäure oder Oel möglich wird. Deshalb halte ich eine Seifenblase lieber für aus zwei Schichten von ganz verschiedener Brechbarkeit zusammengesetzt, von denen die untere wässerige nur zum Träger dient für die oberste farbige Schicht, die aus freier abgeschiedener und sehr dünnflüssiger Fettsäure zu bestehen scheint. Diese oberste Schicht gleitet dann leicht auf der unteren fort; und die Dicke ihres obersten Randes, und damit auch dessen Farbe, hängt ab von der größeren oder geringeren Flüssigkeit des Oels und von der Spannung, die auf diesen Rand wirkt; und da beim Hinuntersinken die Anhaftungspunkte weiter aus einander rücken, so ändert sich auch diese Spannung und damit auch die Dicke und Farbe des Randes. Und weil eine Verdünnung dieser aufliegenden Schicht bis ins Unendliche eine Unmöglichkeit ist, so muß beim ersten Anfang, daß ist an ihrem Rande, wohl ein gewisser Sprung stattfinden.

Oel bricht das Licht mehr als die Luft und die wässerige Seifenlösung; sie liegt also zwischen zwei Substanzen, die einen geringeren Einfluß auf das Licht ausüben, und deshalb muß nach dem Young'schen Gesetze ein relativer Verlust von $\frac{1}{2}$ Wellenlänge stattfinden zwischen dem Licht, das von ihrer Vorderseite, und dem, welches von ihrer Hinterseite zurückgeworfen wird; da die Farben ohngefähr mit dem Grau oder Weiß der ersten Ordnung

anfangen, so mag die Dicke dieser Oelschicht an ihrem dünnsten Rande ohngefähr $\frac{1}{8}$ Wellenlänge betragen.

Den stärkeren Glanz der farbigen Decke erklärt man in meiner Voraussetzung auch sehr leicht, da das Oel oder Fett mit seinem größeren Brechungsvermögen auch ein größeres Reflexionsvermögen besitzt als die darunterliegende wässerige Flüssigkeit, und da ferner das von der Hinterfläche unserer Oelschicht reflectirte Licht in Intensität weit nachstehen muß dem, welches von ihrer Vorderfläche reflectirt wird.

Uebrigens glaube ich festsetzen zu können, daß die eigentliche wässerige Schicht gar keinen Einfluß besitzt, auf die Trennung der Farben; im schwarzen Segmente würde man diese Schicht unendlich dünn oder wenigstens dünner als $20,000$ eines Millimeters annehmen müssen, wenn dieses Schwarz z. B. ein Dunkelgrau der ersten Ordnung seyn sollte; und die Farben der Decke fangen mit einer so niedrigen Stufe an, wirklich mit der ersten Ordnung, daß man entweder die darunterliegende wässerige Schicht für außerordentlich dünn halten oder wenigstens zugeben muß, daß ihr Einfluß, durch das von ihrer Hinterseite reflectirte Licht, auf die eigentliche Farben äußerst gering sey. Die Dicke dieser Wasser-Lamelle läßt sich wohl nicht leicht direct bestimmen, aber ich nehme sie lieber gleich $\frac{1}{300}$ oder $\frac{1}{400}$ eines Millimeters an, so daß sie im zusammengesetzten Lichte keine Farben mehr giebt, als gleich $20,000$.

Hagen ¹⁾ hat einen Versuch beschrieben, woraus hervorgeht, daß die Stärke der Oberfläche von Seifenlösung der von reinem Wasser nachsteht; und doch würden Seifenblasen länger bestehen können als Wasserblasen; eben so scheint mir eine Oeldecke die Erklärung zu geben von der sonst sonderbaren und bewundernswerthen Beständigkeit der Seifenblasen. *Si licet magna componere parvis*, dann kann man einige Uebereinstimmung finden zwischen dem so viel besprochenen Vermögen des Oels, die Wellen des

1) Abhandlungen der Berliner Akademie Math. Classe 1846 S. 1 u. sqq.

Meeres zu besänftigen, und dieser Beständigkeit der Seifenblasen, indem bei beiden eine Oeldecke das darunterliegende Wasser gegen äußere Einflüsse schützen würde. Wenn nun diese Oeldecke zum größten Theile weggesunken ist, findet die wässerige Schicht sich ihrer Vormauer beraubt und sie zerspringt bei der geringsten Störung.

**XVI. Ueber das Verhalten eines kleinen Springbrunnens innerhalb einer elektrischen Atmosphäre;
von Albert Fuchs,**

Professor am evangel. Lyceum zu Presburg.

(Aus den »Verhandlungen des [im Jahre 1856 gegründeten] Vereins für Naturkunde zu Presburg« Jahrg. I, Sitzungsberichte S. 79.)

Läfst man das Wasser eines kleinen Springbrunnens durch eine so kleine Öffnung strömen, daß ein Druck von beiläufig 26" den Strahl kaum auf eine Höhe von 12" treibt, so wird sich derselbe in viele kleine Tropfen auflösen, die in Parabeln von sehr kleinen Parametern nach allen Seiten aus einander gehen und nicht weit von der Öffnung niederfallen. Bringt man in die Nähe dieses Strahls einen elektrisirten Körper, etwa ein mit Seide geriebenes Glasrohr, so wird in dem Abstand von 4 bis 5 Schritten alles Tropfenwerfen aufhören, der Strahl zieht sich in eine Säule zusammen, und steigt, ähnlich dem Pistille einer Lilie, vollkommen ungetheilt in die Höhe. Hält man den elektrisirten Körper ganz nahe an den Strahl, so stiebt er in äußerst feinen Tröpfchen aus einander. Die Erscheinung ist dieselbe, ob man Glas- oder Harz-Elektricität anwendet, sie wird nur modificirt durch die Stärke des Springbrunnens und durch die Kraft der Elektricität des genäherten Körpers.

Die Ursache der Erscheinung mag in Folgendem liegen.

Das Tropfenwerfen des ursprünglichen Strahls ist eine rein mechanische Wirkung der Adhäsion des Wassers an den Wänden des Mundstücks, verbunden mit der freieren Bewegung der Wassertheilchen in der Axe des Strahls. Hält man den elektrischen Körper in größerer Distanz, so werden die einzelnen, nicht elektrischen und isolirten, Tropfen durch Vertheilung elektrisch, und wenden sich wechselseitig die entgegengesetzt elektrischen Seiten zu; sie ziehen sich hiermit an und der Strahl wird eine ungetheilte Säule. Bringt man den elektrischen Körper ganz nahe, so wird die ganze Masse des Wassers durch Vertheilung stark homogen elektrisch, die kleinsten Wassertheilchen stoßen sich ab, und werden nun eines Theils durch elektrische, andern Theils durch mechanische Kräfte aus einander geworfen.

Im ersten Theile der erwähnten »Verhandlungen«, welcher die Abhandlungen der Gesellschaft enthält, wird die eben beschriebene Erscheinung ausführlicher vom Herrn Verfasser untersucht. Unter anderen wird darin die große Empfindlichkeit eines feinen Springbrunnens hervorgehoben, die so beträchtlich sey, daß sie der eines Goldblatt-Elektrometers nicht allein gleichkomme, sondern sie bei feuchter Luft noch übertreffe. Hält man z. B. den Kopf in 12 bis 18 Zoll Entfernung, und führt mit der Hand nur einmal durch die Haare, so zieht sich der Strahl augenblicklich, wenn auch nur auf kurze Zeit, zusammen. Schließlich wird noch Folgendes angeführt: »Als vor ungefähr 20 Jahren zu Eperies (Ungarn), in der Werkstatt des Mechanikus Gustav Liedemann, der sich auch mit Anfertigung von physikalischen Schulapparaten beschäftigte, Experimente mit einem Elektrophor angestellt wurden, hat man an einem in der Nähe springenden Heronsbrunnen das Zusammenziehen des Wasserstrahls zufällig bemerkt«.

XVII. *Polarisation der Elektroden und Wasserbildung im Voltameter; von Bertin.*

(*Compt. rend. T. XLV, p. 820.*)

I. **Z**ersetzt man gesäuertes Wasser durch einen starken Strom (von 50 Elementen) in einem Voltameter mit einer einzigen Glocke, welche die aus der Zersetzung entstehenden Gase, Sauerstoff und Wasserstoff, in Umgebung der Elektroden gemengt aufnimmt, so sieht man, im Moment, da die Glocke fast mit den Gasen gefüllt ist, das Gemenge freiwillig verpuffen, wenn die Elektroden aus folgenden Metallen bestehen:

Positive Elektrode.

1. Platin, platinirt oder nicht
2. Platin
3. Platin
4. Platin
5. Blei
6. Eisen
7. Eisen
8. Blei

Negative Elektrode.

- Platin, platinirt oder nicht
- Kohle
- Eisen
- Blei
- Platin
- Platin
- Kohle
- Kohle.

II. Dagegen verpufft das Gemenge nicht wenn ist:

Positive Elektrode.

9. Platin
10. Platin
11. Platin
12. Eisen
13. Blei
14. Eisen

Negative Elektrode.

- Kupfer
- Zink
- Zink, amalgam.
- Blei
- Eisen
- Messing,

oder wenn die positive Platte aus einem Körper besteht, der den Sauerstoff absorbiert, wie Kohle, Kupfer, Zink u. s. w., weil das Gas alsdann nicht mehr verpuffend ist. Diese Absorption war bei den Versuchen 12, 13 und 14 möglich; allein man versicherte sich, daß sie wirklich nicht stattfand, daß das Gasgemenge leicht im Eudiometer verpuffte.

III. Ersetzt man im Voltameter das gesäuerte Wasser durch gewöhnliches Wasser, so vereinigen sich die Gase nicht mehr instantan; allein es kann eine mehr oder weniger rasche Recomposition stattfinden, sowohl nach der Unterbrechung, als auch während des Durchganges des Stromes. Es kann alsdann geschehen, daß die Elektroden unten das Wasser zersetzen, und oben es wieder bilden, so daß die Flüssigkeit in der Glocke schwankt und diese sich niemals leert.

Dieß beobachtet man in folgenden Fällen:

Positive Elektrode,	Negative Elektrode.
15. Platin, platinirt oder nicht	Platin, platinirt oder nicht
16. Platin	Kohle
17. Platin	Eisen
18. Platin	Kupfer.

Die erste Combination ist die beste.

IV. Die Wasserbildung bei diesen Versuchen kann nicht zugeschrieben werden:

1. Der katalytischen Kraft des Platins, denn sie findet in Fällen statt, wo diese Kraft nicht existiren kann (Versuch 5, 6, 7 und 8); sie findet nicht statt in anderen Fällen, wo diese Kraft möglich wäre (Versuch 9, 10 und 11); und endlich hat man sich direct versichert, daß die Platinplatten des ersten Versuchs wirklich nicht fähig waren, ein Gasgemenge zum Verpuffen zu bringen, welches sie nicht selbst erzeugt hatten; es scheint nöthig zu seyn, daß der Sauerstoff sich im Entstehungszustande oder in dem das Ozon characterisirenden Zustande befinde.

2. Der Erwärmung der Elektroden, denn dieselbe ist nicht so beträchtlich.

3. Dem elektrischen Funken, denn die Säule giebt unter diesen Umständen keine Funken.

4. Der Ueberführung feuriger Theile von einer Elektrode zur anderen, oder kleinen Verbrennungen, die etwa unten an den Elektroden stattfänden; denn einerseits sieht man nie ein lebhaftes Licht der bleichen Flamme der Explosion vorhergehen, und andererseits sieht man diese

Feuer oft bei den Versuchen 9 und 14, bei denen keine Explosion stattfindet; man muß also schliessen, daß sie dieselbe nicht zu erzeugen vermögen.

Man muß also diese Erscheinungen auf die unter dem Namen Polarisation der Elektroden bekannte Eigenschaft zurückführen, von denen sie eine Manifestation in großartigem und ungewöhnlichem Maasse sind.

XVIII. Ueber das Phänomen der Fluorescenz; von C. M. Guillemin.

(Compt. rend. T. XLV, p. 773.)

Aus den merkwürdigen Versuchen der HH. Brewster, J. Herschel und Stokes über die eigenthümliche Modification gewisser Strahlen des Spectrums durch die fluorescirenden Substanzen scheint hervorzugehen, daß das Phänomen auf die oberflächlichen Schichten der Körper beschränkt ist und daß die Strahlen, nach dem Durchgang durch eine sehr geringe Dicke der Substanz, die Eigenschaft verloren haben, abermals eine solche Modification zu erleiden. Diefs war besonders die Meinung von Hrn. Herschel, weil er dem Phänomen den Namen *epipolische Dispersion* beilegte, von *επιπολη* Oberfläche, um damit anzudeuten, daß der Strahl bloß in den oberflächlichen Schichten abgeändert werde.

Als ich ein Strahlenbündel eines durch ein Quarzprisma gebildeten Sonnenspectrums lothrecht auf eine kubische Glasflasche voll einer fluorescirenden Flüssigkeit fallen liefs, und winkelrecht auf die Richtung der Strahlen schaute, beobachtete ich, daß das diffundirte Licht nicht bloß von der Oberfläche herkam, sondern auch von tieferen Schichten der Flüssigkeit bis zu einem Abstand, der zunahm in

dem Maafse, als ich mit weniger und weniger brechbaren Strahlen operirte.

Diese Beobachtung hat mich zu der Annahme geführt, dafs ein und dasselbe Bündel in den oberflächlichen Schichten der Substanz nicht alle Strahlen abgiebt, die einer Brechbarkeitsveränderung fähig sind, und dafs demgemäfs ein und derselbe Strahl das Phänomen der Fluorescenz zwei oder mehre Mal darbieten kann. Diese Eigenschaft läfst sich durch folgende Vorrichtung erweisen.

Die Strahlen eines Spectrums von einem Quarzprisma, genommen zwischen den Strichen *H* und *I*, und isolirt durch einen Schirm mit einer 1 Millimeter breiten Spalte fallen auf ein zweites Quarzprisma, welches sie abermals bricht. Eine matte Porcellanplatte in gewisser Entfernung aufgestellt, fängt auf: einerseits ein sehr schwaches Lichtspectrum, welches aus der vom zweiten Prisma bewirkten Dispersion des vom ersten diffundirten weifsen Lichts entspringt, und andererseits das zwei Mal dispergirte Bündel der dem Versuch unterworfenen Strahlen. Diese letzteren projeciren sich jenseits des Violetts des schwachen Spectrums im Zustand von unsichtbaren Strahlen; man versichert ihrer Gegenwart durch Auffangung derselben mit einem Uranglase.

Wenn man nun vor dem zweiten Prisma zwei plane Quarzplatten aufstellt, welche eine durch Capillarität anhaftende Schicht einer Lösung von Aesculin oder schwefelsaurem Chinin einschliessen, so sieht man das Spectrum des diffusen Lichts durch die Dazwischensetzung der Substanz schwach modificirt, und man erweist leicht, mittelst derselben Lösung, dafs ein grofser Theil der ultravioletten Strahlen durch die Flüssigkeit geht und zum zweiten Mal das Phänomen der Fluorescenz zu erzeugen vermag. Die dünne Flüssigkeitsschicht fängt im Allgemeinen nur die dem Striche *P* benachbarten Strahlen auf.

Bringt man die Dicke der fluorescirenden Schicht allmählig auf 1, 2, 3, . . . 10 . . . 20 Millimeter und mehr, so entsteht auch dann noch dasselbe Phänomen, und man sieht für eine bestimmte Gegend des Spectrums die Menge

der absorbirten Strahlen mit der Dicke zu nehmen¹⁾). Ueberdies ist es sehr leicht nachzuweisen, dafs, bei einer selben Dicke der fluorescirenden Substanz, die Absorption zunimmt in dem Maafse, als man sich den brechbareren Strahlen nähert, und man gelangt so nach und nach zu einem Punkt, wo Alles absorbirt ist.

Diese Versuche wurden gemacht mit einer Lösung von 1 Grm. Chininsulfat und 1 Grm. Weinsäure in 200 Grm. Wasser, mit einer wässerigen Lösung von Aesculin, mit Tincturen von Curcuma, von Brennesseln und von Stechapfelsamen, und mit Uranglase. Alle diese sehr gesättigten Lösungen zeigten sehr verschiedene Absorptionsvermögen; so liefsen, bei einer Dicke von 1 Millimeter, das schwefelsaure Chinin, das Aesculin, die Daturatinctur und das Uranglas einen grossen Theil der dem Striche *I* benachbarten Strahlen durch und die Menge der durchgelassenen Strahlen nahm mit Annäherung an das Roth sehr rasch zu. Bei derselben Dicke absorbirten die Tincturen von Curcuma und von Brennesseln Alles, selbst im Blau und Indigo; man mufs diese Substanzen auf eine Schicht von 0,5 Millimeter reduciren, wenn die fluorescirenden Strahlen durchgehen sollen. Bei einer Dicke von 10 Millimeter läfst das schwefelsaure Chinin noch Strahlen durch, die brechbarer sind als die des Striches *H*. Bei derselben Dicke fangen das Aesculin und die Daturatinctur die violetten Strahlen auf und lassen den grössten Theil der indigofarbenen Strahlen durch. Bei einer Schicht von 20, 30, 40 Millimetern nähert sich der Punkt, bei dem der ganze Strahl absorbirt wird, dem Grün; endlich vermögen die zwischen den Strichen *b* und *F* liegenden Strahlen beträchtliche Dicken von den Lösungen zu durchdringen, ohne Einbuss ihrer Eigenschaft, zum zweiten Mal einen fluorescirenden Schein auszusenden. Wenn man diese Lösungen mit Wasser oder Alkohol verdünnt, nimmt ihr Absorp-

1) Zur Erleichterung der Sprache nehme ich das Wort *Absorption* in einem etwas anderen Sinne wie gewöhnlich. Ich bezeichne mit *absorbirten Strahlen* diejenigen Strahlen, welche die specielle Modification erlitten haben, die ihnen die fluorescirenden Substanzen einprägen.

tionsvermögen ab, und die Dicke der Schichten, welche die Strahlen mit Beibehaltung ihrer ersten Eigenschaften zu durchdringen vermögen, nimmt bedeutend zu.

In der schönen Abhandlung des Hrn. Stokes liest man, daß das durch eine Aesculinlösung gegangene Licht keine Diffusion bei Ankunft auf einer Lösung von schwefelsaurem Chinin bewirke, daß aber das durch eine Lösung von schwefelsaurem Chinin gegangene Licht sehr merklich von Aesculin diffundirt werde ¹⁾. Ich habe nichts Aehnliches beobachtet; im Gegentheil habe ich mich durch das eben beschriebene Verfahren versichert, daß die Strahlen, welche durch eine, selbst ziemlich dicke Schicht von Aesculinlösung gegangen sind, noch einen sehr merklichen fluorescirenden Schein auf Chininsulfat hervorbringen. Wenn das von Hrn. Stokes bezeichnete Phänomen zu entstehen scheint, so kommt dies daher, daß das Aesculin eine reichlichere und hellere Diffusion giebt als das Chininsulfat. Ebenso können die vom Uranglase durchgelassenen Strahlen auf Aesculin- und auf Chininsulfat-Lösung abermals Fluorescenz erleiden und umgekehrt.

Kurz es folgt aus diesen, mit den fluorescirendsten Substanzen angestellten Versuchen:

1) daß das Phänomen der Fluorescenz im Innern der Körper entsteht, in einem desto größeren Abstände von der Oberfläche, je weniger brechbar die Strahlen sind,

2) daß die durch ein fluorescirendes Mittel gegangenen Strahlen dasselbe Phänomen zum zweiten Mal erzeugen können, wenn sie auf dieselbe Substanz oder auf andere mit derselben Eigenschaft begabten Substanzen fallen, vorausgesetzt, daß das erste keine zu große Dicke besitzt.

3) daß die Dicke, welche man der Substanz geben muß, damit sie alle fluorescirenden Strahlen absorbire, sehr rasch zunimmt, in dem Maasse als man von den äußersten ultra-violetten Strahlen gegen die rothen vorrückt.

1) *Ann. de chim. et de phys. T. XXXVIII, p. 496* (Ann. Ergänzb. IV, S. 207).

XIX. *Von einer ökonomischen Art, einen elektrischen Strom durch den Erdmagnetismus zu erzeugen; von Hrn. Lamy.*

(*Compt. rend. T. XLV, p. 807.*)

Bekanntlich giebt es in jeder Dampfmaschine ein Rad von Gufseisen, um die Bewegung zu regeln, einen wahrhaften Kraftbehälter, *Schwungrad* genannt. Im Zustand der Ruhe wird dieses Schwungrad durch den Erdkörper magnetisirt; es wird es auch während seiner Bewegung, aber der Magnetismus ist anders vertheilt und er verändert sich beständig in einem gegebenen Stück der Felge. Umwickelt man daher einen Theil dieser Felge, winkelrecht gegen ihre Richtung, mit einem mit Seide oder Baumwolle übersponnenen Draht, so hat man eine Drahtrolle, vergleichbar der in der Clarke'schen Maschine, mit dem Unterschiede jedoch, dafs sie sich nicht vor künstlichen Magneten, sondern vor dem Magnet der Erde dreht. Ueberdies kann man wegen der Gröfse des metallischen Kerns die Menge des Kupferdrahtes bedeutend vermehren, ehe man die Gränze der inductiven Wirkung erreicht, und damit vermehrt man zugleich sehr den Widerstand der Kette und die Spannung des Stromes.

Man wird bemerken, dafs man durch diese Einrichtung eine nothwendige Bewegung benutzt. Einige Dutzende Kilogramm Draht, hinzugefügt zu einem Schwungrad von 4 bis 5000 Kilogramm, können nicht als ein beträchtlicher Widerstand oder als schädlich für den Effect der Maschine betrachtet werden, weil ein bedeutendes Gewicht nothwendig ist für die Regelmäßigkeit des Ganges und der Arbeit.

Meine Abhandlung giebt an: Die Dimensionen, das Gewicht und die Orientirung des von mir benutzten Schwungrades, den complexen Magnetismus desselben im Zustand der Ruhe und Bewegung, den directen Einfluß der Erde auf die Drahtwindungen der Felge und endlich die Gränzlängen, die ich, für die Umdrehungsgeschwindigkeit des Schwungrades, den Drahtgewinden glaubte geben zu müssen. Ich construirte drei Drahtgewinde von 27 bis 33 Centimeter Länge respective mit Kupferdraht von 1^{mm},85, 1^{mm},1 bis 1^{mm},4 und 0^{mm},6 bis 0^{mm},62 Dicke. Der Draht No. 1 war 600 Meter lang, No. 2 2000, und No. 3 5450 Meter.

Mit der Rolle No. 2 erhielt ich einen schwachen Funken, aber energische Schläge durch den Extrastrom. No. 3 allein oder, der Länge nach, mit No. 2 verbunden, gab Spannungs-Effecte, die denen einer Säule von zwei Bunsen'schen Elementen vergleichbar waren. Alle Salzlösungen, die ich versuchte, Brunnenwasser, selbst destillirtes, vollkommen reines Wasser, wurden bei Anwendung von Elektroden aus Platindrähten zersetzt.

Wo ein eisernes Schwungrad vorhanden ist, können auf diese ökonomische Weise elektrische Ströme erzeugt werden, und wir glauben daher nicht zu viel zu behaupten, wenn wir sagen, daß sie dereinst nützliche Anwendungen finden werde.

XX. *Neuer Polarisator von Kalkspath.*

Der Umstand, daß bei Anfertigung eines Nicol'schen Prismas sehr viel Kalkspath verloren geht, indem ein Stück von etwa drei Mal so großer Länge als Dicke erfordert wird, hat Hrn. Foucault veranlaßt, eine andere Construction zu ersinnen, die er in den *Compt. rend. T. XLV, p. 239* also beschreibt:

Ich nehme ein Kalkspath-Rhomboëder (*parallelepipède*), dessen Längskanten nur etwa fünf Viertel von einer der Seiten der Basen betragen, lege durch die stumpfen Winkel einen um 59° gegen die Ebene der Basen geneigten Schnitt, und bringe, nachdem die neuen Flächen polirt worden sind, die beiden Stücke wieder in ihre natürliche Lage, *ohne sie zusammen zu kleben*, vielmehr einen kleinen Zwischenraum lassend, worin Luft bleibt, die, bei gehörigem Einfallswinkel, die totale Reflexion des ordentlichen Strahls bedingt.

Schaut man durch ein so geschnittenes, und überdies wie das Nicol'sche Prisma gefasstes Rhomboëder, so findet man noch ein angulares Polarisationsfeld; allein da der Brechungsindex der Luft bedeutend geringer ist als die der beiden Strahlen im Kalkspath, so zeigt sich die vollständige Polarisation nur in einer Ausdehnung von etwa 8 Grad, und das Gesichtsfeld, welches sie einnimmt, ist eingefasst von zwei rothen Streifen.

Die neue Combination genügt also nicht den Bedingungen, die zu einem guten Zerleger erforderlich sind; allein, wenn es sich blofs darum handelt, ein Bündel Sonnenlicht, dessen äufserste Strahlen eine Divergenz von einem halben Grad haben, zu polarisiren, so reicht dazu das Prisma mit der Luftlamelle mehr als vollkommen aus. In gewisser Beziehung ist dieser Polarisator sogar dem Nicol'schen Prisma vorzuziehen, weil die Reflexion des ordentlichen Strahls unter einer Incidenz geschieht, welche ihn fast winkelrecht gegen die Intersection der beiden Seitenflächen wirft, wodurch denn dieser Strahl keine Tendenz hat sich abermals zu reflectiren, um zur Basis auszutreten und, wie bei dem Nicol, sich dem außerordentlichen Strahle beizumengen. Wenn überdies der Kalkspath recht rein ist, keine Sprünge und hemitropische Lamellen besitzt, so geschieht die Auslöschung durch einen Zerleger vollständig in der ganzen Ausdehnung des durchgelassenen Bündels. Es steht zu glauben, dafs in den Fällen, wo das Nicol'sche Prisma als Polarisator angewandt wird, die neue Combination vorzuziehen sey, weil sie einen vollständigeren Effect bewirkt und dabei zwei Drittel an Kalkspathmasse spart.

XXI. Notizen.

1. *Elektromagnetischer Einflufs eines Nordlichts.* — In Bretten (an der Eisenbahn von Bruchsal nach Stuttgart) beobachtete man am Morgen des 17. Decembers 5 Uhr 45 Minuten bis 6 Uhr 20 Minuten ein grofsartiges Nordlicht, welches erst gegen Nordwest als ein Ganzes erschien, sich dann nach zwei Seiten hin, die ganze Gegend erleuchtend, trennte und plötzlich verschwand. Sämmtliche Telegraphen-Apparate der Station Stuttgart in der Richtung gegen Bruchsal und Heilbronn gaben zur oben angegebenen Zeit Zeichen. Das Galvanometer gab, ohne dafs eine Batterie einen Strom entsendete, 25° bis 30° Abweichung, dabei von Norden bald gegen Osten, bald gegen Westen abfallend. Auf die bisherigen Wintertage bis — 5° mit Nebel folgte heute klare und milde Witterung bis zu

+ 4° R. im Schatten. (Aus dem Staats-Anzeiger für Württemberg vom 19. Dec. d. J.)

2. *Großer Inductionsapparat.* — Im Decemberheft des *Phil. Magazine*, 1857, meldet Hr. E. J. Ritchie, zu Boston, daß er im verflossenen Juli einen Inductionsapparat verfertigt habe, der 60000 Fufs Draht enthalte und, angeregt durch zwei Bunsen'sche Elemente, 10½ Zoll lange Funken in der Luft gebe. Er befinde sich jetzt im *Columbia College* zu New-York und sey nach dem früher (im *Phil. Mag. Sept.* 1857 und *Silliman's Journ.* Juli 1857) von ihm beschriebenen Princip construiert. — [Dieses Princip, wenigstens so wie Hr. R. es später modificierte, kommt mit dem überein, welches von mir in diese *Annal.* Bd. XCIV (1855), S. 290 beschrieben worden ist; anfänglich wandte er ein etwas anderes an, daß aber nach der Beschreibung ganz unverständlich ist; beide bestehen im Wesentlichen darin, den Inductionsdraht in Abtheilungen aufzuwickeln, die, wie die Windungen selbst, wohl von einander isolirt sind. Uebrigens fragt es sich noch, wie lange der riesige Apparat des Hrn. R. seine große Wirksamkeit behalten werde; nach hier gemachten Erfahrungen werden alle Apparate bei häufigem Gebrauche schlechter.

P.]

Berichtigung. — Erst nach dem Druck meines im diesjährigen Octoberheft dieser *Annalen* enthaltenen Aufsatzes »über zwei ausgezeichnete Beispiele der Schmelzpunkt-Erniedrigung« habe ich erfahren, daß bereits vor einer Reihe von Jahren Hr. Person die Schmelzpunkte des salpetersauren Kalis, des salpetersauren Natrons und des gleichatomigen Gemisches beider Salze bestimmt, und seine Bestimmungen veröffentlicht hat. Siehe Liebig und Kopp's Jahresberichte, für 1847 und 1848 S. 73 und für 1849 S. 33.

(F. G. Schaffgotsch.)

Namenregister zum Jahrgang 1857.

A.

Andrews, Th. u. Tait P. G.,
Ueb. d. Dichtigk. des Ozons CII,
625.

B.

Baudrimont E., Ueb. d. Erlösch.
d. Schallschwing. in heterogenen
Flüssigk. CII, 256

Beer A., Ueb. d. Plateau'schen
Versuch mit Flüssigk., die der
Wirk. d. Schwerkraft entzogen
sind, C. 459. — Ueb. d. Trans-
format. d. flüssig. Cylinders CII,
320.

Beer A. und Kremers P., Ueb.
d. Brechungsindices einig. wä-
ssrigen Salzlös. CI, 133.

Beetz W., Ueb. d. elektromagnet.
Wirkung volta'scher Ströme ver-
schiedn. Quellen CII, 557.

Bergemann, C., Untersuch. von
Meteoreisen C, 245.

Berthelot, Untersuch. üb. den
Schwefel C, 619. — Ueb. Bild.
d. unlösl. Schwefels unter Einfl.
d. Wärme, C. 629.

Bertin, Polarisat. d. Elektrod. u.
Wasserbild. im Voltam. CII, 635.

Bleekrode, Silber im Meerwass.
CII, 478.

Böttger R., Reinigung milchfarbig
gewordn. silbern. Gegenstände C,
658. — Darst. v. rein. Eisenamalg.
CI, 10. — Gefahrlose Bereit. des
selbst-entzündl. Phosphorwasser-
stoffgases CI, 453.

Bosscha J., Ueb. die mechanische
Theorie d. Elektrolyse CI, 517.

v. Breda u. Logeman, Ueb. d.
Fortführ. v. Flüssigk. durch po-
röse Scheidewände C, 149.

Brunner C., Darstell. und Eigen-
schaften d. Mangans CI, 264.

Buff H., Schreib. an G. Magnus
C, 168. — Siehe Wöhler.

Bunsen R. u. Roscoe H., Photo-
chem. Untersuchungen, 2. Abh. C,
43. — 3. Abh. C, 481. — 4. Abh.
CI, 235.

Bunsen R. u. Schischkoff L.,
Chem. Theorie d. Schießpulv. CII,
321.

C.

Chandler Ch. F., Analyse des
Zirkons von Buncombe County
CII, 444.

Cima, Neue stereoskop. Erschein.
CII, 319.

Clausius R., Ueb. d. Art v. Be-
wegung, die wir Wärme nennen
C, 353. — Ueb. Elektricitätsleit.
in Elektrolyten CI, 338. — Siehe
Hoppe.

D.

Dauber H., Ueb. Svanbergit und
Beudantit C, 579.

Desains E., Ueb. d. Capillarphä-
nomene C, 336. — Ueb. d. capill.
Aufst. d. Wass. zwischen parallel.
Platten CII, 601.

Descloiseaux, Ueb. das Daseyn
d. Circularpolarisation im Zinno-
ber CII, 471. — do. u. im schwef-
elsaur. Strichnin CII, 474.

Deville s. St. Claire-Deville.
Dexter W. P., Ueb. d. Atomge-
wicht d. Antimons C, 563.

Ditscheiner L., Ueb. das Axen-
verhältn. d. Hemi-Orthotyps C, 516.

Dove H. W., Ueb. Binocularsehen
durch gefärb. Gläser CI, 147. —
Ueb. d. elektr. Licht CI, 292. —
Methode, Interferenz- u. Absorp-
tionsfarben in belieb. Verhältn. zu
misch. CI, 298. — Ueb. d. Un-
terschiede monocularer u. binocu-
larer Pseudoskopie CI, 302. —
Akust. Interferenz CI, 492. — Be-
merk. zu d. Aufsätzen v. Vettin,
CII, 607.

Dub J., Ueb. d. Länge d. Elektro-
magnete CII, 199.

E.

Edlund, Ueb. telegraph. Gegen-
sprechen C, 470. — S. Siemens.
Ermann A., Ueb. d. Salzgehalt d.
Meerwassers CI, 577.

F.
Faraday M., 30. Reihe v. Experimental-Untersuch. üb. Elektr. C, 111 u. 439. — Ueb. d. Funkeln d. Sterne CI, 157. — Ueb. Versilbern d. Glases u. Durchsichtigk. d. Goldes CI, 313.

Faye, Färb. d. Mondes bei seinen Verfinsterungen C, 42.

Field F., Bestätigte Gegenwart v. Silber im Meerwasser C, 349.

Foucault L., Neuer Polarisator CII, 642.

Franz R., Untersuch. üb. d. Diathermansie gefärbt. Flüssigkeiten CI, 46.

Fuchs A., Verhalt. e. Springbrunnens geg. elektr. Körper CII, 633.

G.
Gilbert, Ueb. d. Theorie d. Capillarität CII, 605.

Grove W. R., Ueb. einige neue Methoden z. Hervorbring. u. Fixir. elektr. Figuren C, 345.

Guillemin C. M., Ueb. d. Fluorescenz CII, 640.

H.
Halske, Stereoskop mit bewegl. Figuren C, 657.

Hankel W., Ueb. d. farbige Reflexion d. Lichts an mattgeschliff. Fläch. C, 302.

Heintz VV., Ueb. d. Margarinsäure CII, 257.

Heller, Irrlichtbeobacht. CI, 157.

Helmholtz H., Das Telestereoskop CI, 494 u. CII, 167.

Heraeus W. C., Verkauf v. Platingeräthen CI, 644.

Hoppe R., Bemerk. zu den Aufsätzen von v. Seydlitz u. von Clausius CI, 143. — Ueb. d. Biegung prism. Stäbe CII, 227.

J.
Jamin, Ueb. d. Geschwindigk. d. Lichts in Wass. von verschiedn. Temperat. C, 478.

K.
Karsten H., Rohrzucker im Wespenehonig C, 550.

Kenngott A., Ueb. d. Pseudomorphosen d. Kupfers C, 467. — Mineralog. Notizen CII, 308.

Kirchhoff G., Ueb. d. Beweg. d.

Elektr. in Drähten C, 193 u. 351. — Ueb. d. Beweg. d. Elektr. in Leitern CII, 529.

Knoblauch H., Ueb. d. Einfl. d. Metalle auf strahlende Wärme CI, 161.

Koosen J. H., Entwickl. d. Fundamentalgesetze d. Elasticität u. d. Gleichgewichts chemisch homogen. Körper CI, 401.

Krantz A., Das Meteoreisen vom Tolucathal CI, 152.

Kremers P., Vergleich d. Modificat. d. mittl. spec. Wärme mit der des mittl. Volums C, 89. — Ueb. d. Schmelz- u. Siedpunkte d. Glieder einzelner Triaden C, 261. — Ueb. d. Aendr., welche d. Modificat. d. mittl. Volums gelöster Salzmassen durch Aender. d. Temperat. erleidet C, 394. — Ueb. conjugirte Triaden CI, 274. — Ueb. d. Brechvermög. einiger Salzlösungen CI, 459. — s. Beer.

L.
Lamy, Ueb. den Magnetism. u. d. elektr. Leitvermögen d. Kaliums u. Natriums C, 165. — Von ein. ökonomischen Art, einen elektrischen Strom durch Erdmagnetismus zu erzeugen CII, 641.

Lang V. v., Bemerk. z. Krystallisation d. Quarzes C, 351.

Logeman s. Breda.

Loomis E., Ueb. einige elektr. Erschein. in den Vereinigt. Staaten C, 599. — s. Schneider J.

Luboldt R., Ueb. d. Ankerit CII, 455.

M.
Magnus G., Elektrolytische Untersuchung. CII, 1.

Matthiessen, Ueb. d. Elektricitätsleit. d. Kaliums, Natriums, Lithiums, Magniums, Calciums und Strontiums C, 178.

Meister, Akust. Phänomen CII, 479.

Meyer L., Ueb. d. Gase d. Bluts CII, 299.

N.
Nason, H. B., — s. Sartorius.
Neumann F., Ueb. d. Ozongehalt d. Atmosphäre CII, 614.

Nordenskiöld A. E., Beitr. z. Finnlands Mineralogie CI. 625. — Versuch, die Dichtigk. chemischer Verbind. theoret. zu berechn. CII, 387.

O.

Oesten F., Ueb. d. Trenn. der Tantalssäure von d. Säuren aus d. Columbiten C, 340.

Oppel J. J., Bemerk. z. Stereoskopie, besonders z. Erklär. des Glanzes zweifarb. Bilder C, 462. — Beobacht. einer zweit. Gattung v. Reflexionstönen, nebst Theorie derselb. CI, 105.

P.

Palacky. — Ueb. d. Einsenkung von Australien C, 659.

Pasteur, Studien üb. d. Wachsen d. Krystalle u. üb. d. Ursache d. Veränder. ihrer sekundär. Flächen C, 157.

Petitjean, Verfahr. z. Versilb. d. Glases CI, 313.

Pfaff F., Geolog. Bedenk. gegen annoch thätige Mondsvulkane CI, 487. — Ueb. d. Mess. ebener Krystallwinkel und deren Verwerth. für d. Ableit. d. Flächen CII, 457. — Ueber eine sehr flächenreiche Schwerspathcombination u. s. w. CII, 464.

Place F., Ursache d. Kupferniederschlags auf die Thonzelle der Daniell'schen Kette und dess. Verhüt. C, 590.

Q.

Q. Quintus-Icilius, Ueb. d. numer. Werth d. Constante in d. Formel für d. elektro-dynam. Erwärm. v. Metalldrähten CI, 69.

R.

Rammelsberg C, Ueb. d. Zotsit u. seine Bezieh. zum Epidot C, 133. — Zusammensetz. d. Beudantits C, 581. — Ueb. d. phosphorsaur. Natron-Lithion CII, 441.

Reichenbach v., Ueb. d. Meteoriten von Hainholz CI, 311 und CII, 618. — Ueb. d. Meteoriten aus d. Tolucathal CII, 621.

Remy, Angebl. Ersteig. d. Chimborasso C, 479.

Riefs P., Die elektr. Wärmefor-

mel betreffend C, 473. — Ueber d. elektr. Funkenentladung in Flüssigk. CII, 177.

Rijke P. L., Ueb. d. Extraströme CII, 481.

Ritchie, Großer Inductionsapp. CII, 644.

Romershausen, Reclamation CI, 644.

Roscoe s. Bunsen.

Rose G., Ueb. d. sogen. Babylonquarz C, 142.

Rose H., Ueb. d. Verbind. des Tantals mit Stickstoff C, 146. — Ueb. d. Atomgewichte d. einfach. Körper C, 270. — Ueb. d. Tantalssäure u. d. Tantalssäurehydrat C, 417. — Ueb. d. Verbind. d. Tantalssäure mit d. Kali C, 551. — Ueb. d. Verbind. d. Tantalssäure mit d. Natron CI, 11. — Ueb. d. Verhalt. d. Silberoxyds gegen andere Basen CI, 214, 321 u. 497. — Ueb. d. tantsaur. Salze CII, 55. — Ueb. d. niederen Oxydationsstufen d. Tantals CII, 280. — Ueb. d. Verbind. d. salpetersaur. Natrons mit salpetersaurem Silber CII, 436. — Verhalt. der Borsäure z. Weinsäure CII, 545.

S.

Saint-Claire-Deville, Ueb. d. Flüchtigg. d. Magnesiums CI, 234. — s. Wöhler.

Salm-Horstmar, Fürst. — Ueb. eine krystallis. fluoresc. Substanz aus der Rinde von *Fraxinus excelsior* C, 607 u. CI, 400.

Sandberger F., Ueb. d. Beudantit u. s. Modificationen C, 611.

Sartorius v. Waltershausen, Fortgesetzte Untersuch. einig. Mineralkörper aus d. Dolomitformat. d. Binnenthals, mit Beiträgen v. E. Uhrlaub u. H. B. Nason, C, 537.

Schabus J., Ueb. d. Krystallform d. Kärntner Vanadinites C, 297.

Schaffgotsch F. G., — Eine akust. Beobacht. C, 352. — Ueb. eine Erschein. bei plötzlich aber schwach geändert. Luftdruck C, 650. — Akust. Beobachtungen CI, 471. — Zwei ausgezeichnet. Beispiele a. Schmelzpunkts-Erniedr.

CII, 293, 644. — Der Tonflammenapparat CII, 627.

Scheerer Th., Mineralog. Charakterist. d. Prosopits CI, 361.

Schischkoff L., — s. Bunsen.

Schmidt W., Ueb. d. Endosmose d. Glaubersalz. CII, 122.

Schneider J., Ueb. d. elektr. Erschein. in d. Vereinigt. Staaten CI, 309.

Schneider R., Ueb. d. Aequivalentgewichte d. Nickels und Kobalts CI, 387.

Schönbein, Zusammenh. d. katalyt. Erschein. mit d. Allotropie C, 1. — Ueb. e. eigenthüml. Erzeugungsweise d. salpetrig. Säure C, 292.

Schulze O., Akust. Wellen-Apparat. C. 583.

Sella Q., Krystallf. d. diamantartig. Bors C, 646.

Serge de Birkin, Eigenthüml. Schattenphänomen C, 98.

Siemens W., Ueb. d. telegraph. Gegensprechen (s. Edlund) C, 653. — Neue Construct. magnetoel. Maschinen CI, 271. — Ueb. d. elektrostat. Induction u. d. Verzöger. d. Stroms in Flaschendraht. CII, 66.

Simmler s. Wild.

Sinsteden, Ueb. d. magnetisirend. u. elektrolyt. Wirk. d. elektro-magnet. Inductionsstroms CI, 1.

Steeg W., Verkauf optisch. Gegenstände CI, 642.

Stefan, Allgem. Gleichung für oscillator. Bewegungen CII, 365.

Stokes G. G., Ueb. d. Polarisat. d. gebeugt. Lichts CI, 154.

Svan W., Ueb. d. prismat. Spectra d. Flammen v. Kohlenwasserstoffverbind. C. 306.

T.

Tait s. Andrews.

Taupenot, Ueb. d. Anfertigung d. Barometers u. d. Sieden d. Quecksilb. im Vacuo C, 475.

U.

Uhrlaub E., Die Verbind. d. Molybdäns mit Stickstoff CI, 605. — s. Sartorius.

V.

Verdet, Ueb. d. opt. Eigenschaft. durchsichtig. Körper unter Wirk. d. Magnetism. C, 172.

Vettin, Meteorolog. Untersuch. 2. Abh. C, 99. — Ueb. d. mittl. Barometerstand unter verschied. Breiten C, 595. — Ueb. d. aufsteig. Luftstrom, d. Entsteh. des Hagels u. d. Wirbelstürme CII, 246.

W.

Warren, Ueb. einig. Zirkonerde- u. Titansäure-Verbind. CII, 449.

Weber R., Ueb. d. Wärme-Entwickl. b. Molecularveränder. des Schwefels und Quecksilberjodids C, 127. — Ueb. Jod-Aluminium, CI, 465.

Weber W., Bemerk. z. Aufs. v. Kirchhoff C, 351.

Wertheim W., Ueb. d. Capillarität CII, 595.

Wiedemann G., Ueb. d. Magnetism. d. Stablstäbe C, 235.

Wild H. u. Simmler Th., Ueb. einige neue Methoden z. Bestimm. der bei d. Diffus. einer Salzlösung in das reine Lösemittel auftretend. Constanten C, 217 und 660.

Willigen V. S. M. van der, Eine Licht-Erschein. im Auge CII, 175. — Ueb. d. Seifenblasen CII, 629.

Wöhler F., Ueb. e. neuen Meteoriten C, 342. — Ueb. Stickstoffsilicium u. Stickstoffbor CII, 317. — Mit Buff: Neue Verbind. des Siliciums CII, 313. — Mit Sainte-Claire-Deville: Ueb. d. Bor C, 635.

Wolf C., Vom Einfl. d. Temp. auf d. Erschein. in Haarröhrchen CI, 550 u. CII, 571.

Z.

Zech J., Ueb. d. Ringsysteme in 2-axigen Krystallen CII, 354.

Zöllner F., Photometr. Untersuchungen C, 381, 474 u. 651. — Ueb. ein neues Princip zur Construct. einer elektromagnet. Kraftmaschine CI, 139.

